



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DE MEJORAS OPERATIVAS DE LA FORMADORA CÁRNICA DE DIAFRAGMA 1FCD3

AUTORA: NAZARET DE LAS HERAS DEL AMO

TUTOR: ÁNGEL SAPENA BAÑÓ

COTUTOR: RUBÉN PUCHE PANADERO

Curso Académico: 2019-20

AGRADECIMIENTOS

“A todos aquellos que han creído en mí.”

RESUMEN

El presente TFM tiene como objetivo la implementación de mejoras operativas en la formadora cárnica de diafragma 1FCD3 de control manual, cuya función es formar albóndigas de diferentes dimensiones mediante un accionamiento basado en un motor de inducción. Estas mejoras operativas son la posibilidad de producir no sólo albóndigas sino también croquetas de diferentes formas y dimensiones. Para ello se sustituirá el accionamiento y se incorporará un control de posición basado en recetas, así como el control automático de la formadora basado en un autómata programable y una pantalla de operador, dotándolo de un control de la producción y un telemantenimiento.

Palabras Clave: Formadora, autómata, servomotor, control automático, acceso remoto

RESUM

El present TFM té com a objectiu la implementació de millores operatives en la formadora càrnica de diafragma 1FCD3 de control manual, la funció de la qual és formar mandonguilles de diferents dimensions mitjançant un accionament basat en motor d'inducció. Aquestes millores operatives són la possibilitat de produir no solament mandonguilles sinó també croquetes de diferents formes i dimensions. Per tal d'aconseguir-ho, se substituirà l'accionament i s'incorporarà un control de posició basat en receptes, així com el control automàtic de la formadora basat en un autòmata programable i una pantalla d'operador, dotant-la d'un control de la producció i un telemanteniment.

Paraules clau: Formadora, autòmata, servomotor, control automàtic, accés remot

ABSTRACT

The following Master's thesis pursues the objective of implementing operational improvements to the manually controlled diaphragm meat former 1FCD3, whose function is to shape meatballs with different dimensions through an actuator based on an induction motor. These operational improvements are the possibility of producing not only meatballs but also croquettes with different shapes and dimensions. To this end, the actuator will be replaced and a position control based on recipes will be implemented, together with an automatic control of the former machine based on a programmable robot and an operator screen, also providing it with a production control system and a remote maintenance application.

Keywords: Former, PLC, servomotor, automatic control, remote access

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFM

- Memoria
- Presupuesto
- Planos

ÍNDICE DE LA MEMORIA

Índice de Ilustraciones	1
Índice de Tablas.....	4
1. Introducción.....	5
1.1. Motivación	5
1.2. Contexto	5
1.3. Objetivos	7
2. Descripción de la formadora cárnica de diafragma 1FCD3.....	9
2.1. Elementos de la máquina	9
2.2. Utilidad	10
2.3. Funcionamiento	11
3. Modificaciones y mejoras propuestas	15
3.1. Modificaciones propuestas.....	15
3.2. Mejoras.....	16
4. Selección de alternativas	19
4.1. Tecnología	19
4.2. Alternativas para el accionamiento eléctrico.....	24
4.3. Selección	27
5. Solución adoptada	35
5.1. Ciclos de trabajo	35
5.2. Diseño eléctrico y comunicaciones.....	37

Análisis de mejoras operativas de la formadora cárnica de diafragma 1FCD3

5.3. Parametrización del accionamiento	45
5.4. Programación del control	45
5.5. Programación de pantalla	55
5.6 Acceso remoto	63
6. Viabilidad económica	65
6.1. Material y prestaciones	65
6.2. Programación y puesta en marcha	65
6.3. Mantenimiento y fiabilidad	66
6.4. Versatilidad	67
6.5. Resumen y conclusiones.....	67
7. Conclusiones y desarrollos futuros	69
7.1. Conclusiones	69
7.2. Desarrollos futuros	70
Bibliografía	71

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

Índice de Tablas.....	1
1. Justificación	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Metodología presupuestaria	2
2. Desglose de costes	3
2.1. Recursos humanos.....	3
2.2. Recursos materiales.....	4
3. Resumen	7

ÍNDICE DE LOS PLANOS

1. Conexionado entre el autómatas y el controlador.....	1
---	---

MEMORIA DE PROYECTO

ANÁLISIS DE MEJORAS OPERATIVAS DE LA FORMADORA CÁRNICA DE DIAFRAGMA 1FCD3

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Número de empresas por subsectores en Industria Alimentaria de la Comunidad Valenciana [1].....	6
Ilustración 2. Formadora cárnica de diafragma DN-50 de la marca Industrial Fuerpla [3].....	7
Ilustración 3. Formadora de diafragma 1FCD3 [6].....	9
Ilustración 4. Esquema de la formadora de diafragma 1FCD3.....	10
Ilustración 5. Diagrama funcionamiento 1FCD3	11
Ilustración 6. Giro del motor con visualización de la biela y parte de la transmisión.....	12
Ilustración 7. Punto intermedio de funcionamiento.....	13
Ilustración 8. Diafragmas abiertos	14
Ilustración 9. Diafragmas cerrados.....	14
Ilustración 10. Kibbeh libanés	17
Ilustración 11. Korokke japonés	17
Ilustración 12. Coxhinas brasileñas	17
Ilustración 13. Croquetas	17
Ilustración 14. Cilindro hidráulico de Bosch-Rexroth obtenido de www.boschrexroth.com	19
Ilustración 15. Cilindro neumático de Festo obtenido de www.festo.com	20
Ilustración 16. Motor de corriente alterna síncrono TDMK obtenido de julunmotor.en.made-in-china.com	22
Ilustración 17. Motor corriente continua Bosch obtenido de www.amazon.es	22
Ilustración 18. Motor de corriente alterna asíncrono Hanzel obtenido de www.hanzelmotor.com	23
Ilustración 19. Servomotor Minas A6 de Panasonic [11]	28
Ilustración 20. Evolución del par del motor MSMF042L1[11]	29
Ilustración 21. Cargas permitidas en el eje del motor MSMF042L1 [11].....	30
Ilustración 22. Servo driver Minas A6SG de Panasonic [11]	30
Ilustración 23. Esquema electrónico del controlador [11].....	31
Ilustración 24. Autómata FP-X de Panasonic [12]	31
Ilustración 25. Número de señales que pueden estar simultáneamente en ON [13]	32
Ilustración 26. Casete expansión FPX-COM3 de Panasonic [13].....	32
Ilustración 27. Esquema electrónico casete COM3 de Panasonic [13]	32
Ilustración 28. Pantalla eSmart04M de Exor [14]	33

Ilustración 29. Logo Corvina Cloud 2.0.....	34
Ilustración 30. Ciclos de trabajo	35
Ilustración 31. Croqueta con los parámetros de personalización de forma	37
Ilustración 32. Aplicación en proceso de cableado	37
Ilustración 33. Alimentación del controlador [11]	38
Ilustración 34. Alimentación del servomotor [11]	38
Ilustración 35. Alimentación del autómeta programable [13].....	39
Ilustración 36. Alimentación de la pantalla de operador [14]	39
Ilustración 37. Esquema frontal controlador talla B [11].....	40
Ilustración 38. Conexionado control de posición X4 [11]	41
Ilustración 39. Conexión servomotor encoder [11]	41
Ilustración 40. Disposición de pines FPX0-C14P [13]	42
Ilustración 41. Pineado conector serie del autómeta [13].....	42
Ilustración 42. Frontal del autómeta [13]	42
Ilustración 43. Esquema de bloque de terminales del casete [13]	43
Ilustración 44. Interruptores casete COM3 [13]	43
Ilustración 45. Conexiones pantalla [14].....	44
Ilustración 46. Esquema resumen de comunicaciones	44
Ilustración 47. Ventana de Parámetros Básicos dentro de Panaterm	45
Ilustración 48. Marcha del motor.....	48
Ilustración 49. Valores iniciales de las variables	49
Ilustración 50. Límites máximos y mínimos de las variables.....	50
Ilustración 51. Generación de la base de tiempo de ciclo	50
Ilustración 52. Cálculo de puntos según los ciclos por minuto indicados.....	50
Ilustración 53. Reinicio del ciclo	51
Ilustración 54. Parámetros del modo 1.....	51
Ilustración 55. Parámetros del modo 2.....	52
Ilustración 56. Parámetros del modo 3.....	52
Ilustración 57. Tiempo de ciclo	53
Ilustración 58. Cálculo del tiempo de apertura.....	53
Ilustración 59. Cálculo del tiempo de cierre	53
Ilustración 60. Cálculo de apertura y velocidades	53
Ilustración 61. Asignación de posición y velocidad de apertura	54

Ilustración 62. Asignación de posición y velocidad de cierre.....	54
Ilustración 63. Señal de origen.....	54
Ilustración 64. Alarma de velocidad.....	55
Ilustración 65. Esquema pantalla modo manual.....	55
Ilustración 66. Pantalla inicio JMobile.....	56
Ilustración 67. Detalle árbol JMobile	57
Ilustración 68. Pantalla del menú.....	58
Ilustración 69. Pantalla de esfera y cilindro	59
Ilustración 70. Pantalla de forma configurable.....	59
Ilustración 71. Pantalla de forma configurable con variables cargadas.....	60
Ilustración 72. Pantalla de alarmas	61
Ilustración 73. Pantalla de recetas	62
Ilustración 74. Pantalla de gestión de usuarios.....	62
Ilustración 75. HMIClient.....	63
Ilustración 76. Programación informe de producción	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa según energía [8]	21
Tabla 2. Comparativa de servomotores	24
Tabla 3. Comparativa de controladores.....	25
Tabla 4. Comparación de autómatas	26
Tabla 5. Comparativa de pantallas	26
Tabla 6. Comparativa de sistemas de acceso remoto.....	27
Tabla 7. Características servomotor Minas A6 [11]	29
Tabla 8. Cargas permitidas en el eje del motor MSMF042L1 [11]	29
Tabla 9. Características pantalla eSmart04M [15]	33
Tabla 10. Variables propias del autómata.....	47
Tabla 11. Leyenda de iconos de la pantalla	61
Tabla 12. Resumen de la comparativa económica entre la formadora 1FCD3 original y las mejoras propuestas.....	67

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

El presente documento tiene la finalidad de servir como Trabajo Fin de Máster del Máster Universitario en Ingeniería Industrial ofrecido por la Universitat Politècnica de València (UPV). Este proyecto constituye la culminación de los actos de evaluación académicos necesarios para la obtención de dicha titulación.

El proyecto desarrollado a continuación busca la mejora de las máquinas tradicionales de formado de carne con diafragma, completando su utilidad con un control de posición del diafragma que permita obtener variedad de formas, y añadiendo funcionalidades de control de producción y telemantenimiento con un manejo sencillo para el operario. Plantea por tanto un nuevo horizonte para este tipo de maquinaria.

En este documento se pretende también analizar económicamente dichas mejoras operativas para justificar así su idoneidad, así como llevar a cabo su desarrollo eléctrico y de programación.

1.2. CONTEXTO

La industria cárnica es el cuarto sector productivo más importante en España, representando un 2.4% del PIB total de nuestro país, según datos del INE de 2017[1].

Fabricantes como Gaser (Barcelona), Fuerpla (Valencia), Tecmaq (Barcelona) o Castellvall (Girona) son los encargados de desarrollar la tecnología de las formadoras en nuestro país y ofrecen variadas propuestas tecnológicas [2]. Empresas como Pujolás [2] o Fuerpla [3] apuestan por los servoaccionamientos para embuchadoras y formadoras, debido a la velocidad y precisión que se puede alcanzar con esta tecnología.

La Ilustración 1 muestra el porcentaje de número de empresas en la Comunidad Valenciana divididas por subsectores dentro de la industria alimentaria. Se observa que, a pesar de no ser el principal subsector, el cárnico tiene una presencia no despreciable, contando con la presencia clave de empresas como *Delisano* o *Campofrío* [1]. Por tanto, se considera relevante el aporte de valor a este sector, desde el punto de vista de la optimización de maquinaria que afecta favorablemente a las empresas valencianas.

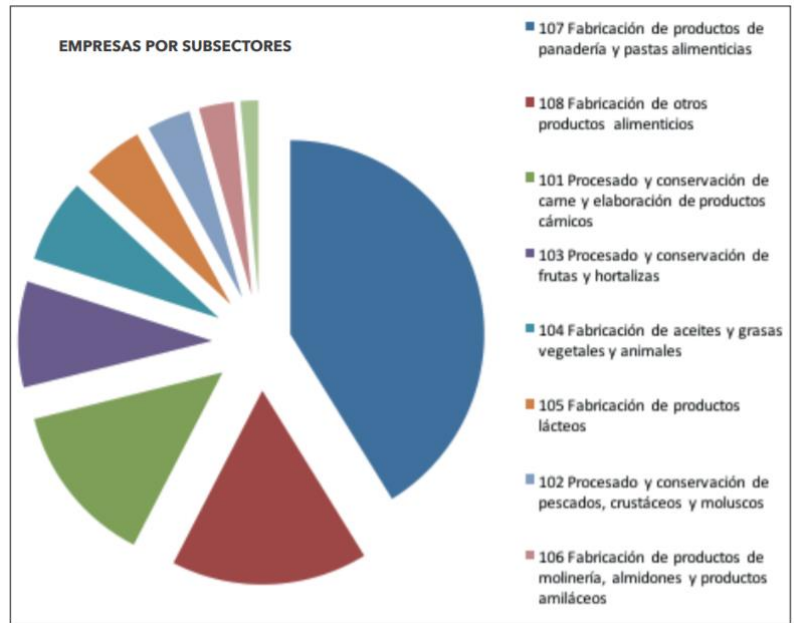


Ilustración 1. Número de empresas por subsectores en Industria Alimentaria de la Comunidad Valenciana [1]

En el panorama industrial actual, cada vez toman mayor protagonismo conceptos como la industria 4.0 y el IoT (Internet of Things, Internet de las cosas). La industria 4.0 o cuarta revolución industrial implica la implementación de nuevas tecnologías que suponen un cambio en el paradigma [4]. El IoT es una de estas nuevas tecnologías que se están implementando a nivel mundial. Supone la interconexión de las máquinas mediante Internet o una red privada [5].

Entre las bondades de interconectar los dispositivos entre sí, cabe destacar el ahorro energético, análisis de datos y actuación remota, que son características aplicables como importantes mejoras a la máquina que nos ocupa.

Un ejemplo de formadora conectada y con características similares a las que se buscan en la 1FCD3 es la formadora DN-50, desarrollada recientemente por la empresa valenciana Fuerpla [3] y mostrada en la Ilustración 2. Se trata una máquina servoaccionada de procesamiento cárnico para la producción de albóndigas y/o croquetas. Dispone de un cuadro eléctrico con una pantalla de operador para interactuar con la máquina y está internamente controlada por un autómatas programable y servoaccionamiento.



Ilustración 2. Formadora cárnica de diafragma DN-50 de la marca Industrial Fuerpla [3]

En definitiva, el mercado de maquinaria cárnica, así como prácticamente cualquier sector industrial, se une también a la interconexión de las máquinas.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es la implementación de mejoras operativas en la formadora de diafragma 1FCD3 de la empresa española Castellvall. Dichas mejoras incluyen la posibilidad de producir nuevas formas como croquetas y lágrimas, la realización de un control de producción y mantenimiento mediante acceso remoto.

La formadora se trata de un accesorio de embutidora cárnica, cuya función es formar croquetas o albóndigas de diferentes dimensiones. Actualmente su control es manual y el accionamiento eléctrico se realiza mediante un motor de inducción para la apertura y cierre de los tres diafragmas.

Las mejoras pretenden aportar un control automático y completo de la producción, mediante una pantalla de operador, un servomotor y un autómata programable que gestiona el control y la comunicación del sistema, facilitando al operario su interacción con la máquina.

La consecución del objetivo principal se llevará a cabo gracias al desarrollo de los siguientes objetivos específicos:

- Definir las mejoras a implementar y su alcance: operabilidad mediante una pantalla de control, opción de recetas configurables, mejora y ampliación de las posibilidades en cuanto a formas de producto, conectividad mediante acceso remoto, redacción de informes diarios y envío mediante un correo electrónico y plan de mantenimiento periódico de la máquina.
- Realizar una comparativa de tecnologías y seleccionar el accionamiento más adecuado para el control de la formadora.
- Realizar la valoración de los equipos de mercado disponibles en diferentes marcas. Seleccionar los equipos idóneos para la implantación de las mejoras.

Análisis de mejoras operativas de la formadora cárnica de diafragma 1FCD3

- Definir los ciclos de trabajo a llevar a cabo, así como los intercambios de información necesarios entre equipos. Decidir las comunicaciones a llevar a cabo entre los equipos: tanto las variables a comunicar como los protocolos de comunicación.
- Diseñar el cableado de potencia y control de la nueva instalación eléctrica.
- Programar el control del autómatas programable en comunicación tanto con el servomotor como con la pantalla.
- Configurar el servomotor adaptado a la mecánica de la máquina.
- Diseñar la pantalla de control de forma que resulte intuitiva y sencilla para el operador y su comunicación con el autómatas programable. Programar funcionamiento manual dando valores de radio, velocidad y forma, así como funcionamiento automático mediante configuración de recetas. Habilitar gestión de usuarios de la pantalla con limitación de accesos a menús.
- Configurar el acceso remoto con una red de internet LAN. Seleccionar y desarrollar las funciones de acceso remoto. Diseñar y programar los informes de producción y mantenimiento.
- Desarrollar un estudio económico del impacto de la modificación, tanto en costes de material e ingeniería como en repercusión económica de las mejoras aportadas.
- Extrapolar el desarrollo de acceso remoto y sus aplicaciones, en la medida de lo posible, a otras formadoras como a cualquier máquina en que se quiera una monitorización continua de estado y producción.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA FORMADORA CÁRNICA DE DIAFRAGMA 1FCD3

2.1. ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

La formadora manual original 1FCD3 representada en la Ilustración 3 dispone de los siguientes elementos ([6]):



Ilustración 3. Formadora de diafragma 1FCD3 [6]

- **Motor:** de inducción trifásico, con una potencia de 0.75kW.
- **Biela:** pieza mecánica de acero inoxidable AISI-304 que convierte la rotación del motor en un movimiento de traslación con vaivén.
- **Transmisión:** piezas mecánicas de acero inoxidable AISI-304 capaces de transportar el movimiento de traslación con vaivén a la apertura y cierre de los tres diafragmas de la máquina. Está formada por una pieza en forma de E y pistones en cada una de sus puntas que actúan directamente sobre los diafragmas.
- **Diafragma:** 3 dosificadores de diafragma de 6 cuchillas de acero inoxidable AISI-304, que abren y cierran para dejar pasar el producto. Posibilidad de regular el diámetro de apertura del diafragma de 15 a 50 mm, y por consiguiente el diámetro del producto final. Soportan una presión de trabajo de hasta 10 kg/cm².

- **Cuchilla:** pieza afilada de acero inoxidable que recorre paralelamente la superficie del diafragma cortando y ayudando a desprender la carne que pueda quedar pegada en el ciclo de apertura y cierre del diafragma. Actúa cuando el diafragma se cierra por completo.
- **Cuadro eléctrico:** pequeño cuadro de acero inoxidable AISI-304 con protección eléctrica y conexión del motor y selector de marcha. Conexión trifásica de 380V, a 50Hz, para 0.75kW.
- **Alimentación:** Conexión a embudidora mediante enlace alimentario con tubo flexible que recoge el producto de la embudidora a presión.
- **Estructura:** estructura y conjunto construido en inoxidable AISI-304, con 2 ruedas fijas y 2 ruedas giratorias con freno. Sus dimensiones en milímetros se detallan en la Ilustración 4.

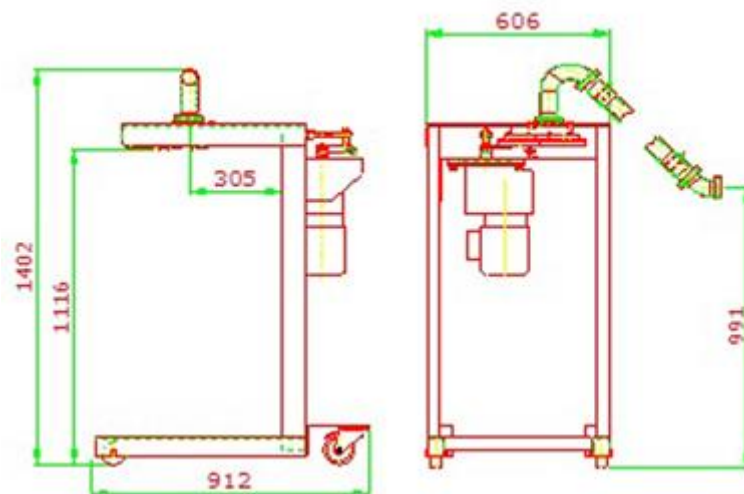


Ilustración 4. Esquema de la formadora de diafragma 1FCD3

2.2. UTILIDAD

Las máquinas formadoras de carne se utilizan principalmente para dar diferentes formas a la carne picada. Pueden ser manuales de pequeño tamaño, o automáticas de grandes potencias, con aplicaciones industriales. Además, su tecnología puede ser variada: desde prensado manual en caso de pequeños utensilios, hasta soluciones eléctricas o neumáticas apoyadas por una embudidora previa.

En el caso de la formadora de croquetas y albóndigas de diafragma, su función es crear bolas o elipsoides a partir de carne semicongelada, que posteriormente pasarán a procesos de cocinado o ultracongelado. En el caso de esta máquina en concreto, su objetivo original es formar albóndigas redondeadas. Se espera que la máquina obtenga formas precisas, con la mayor producción posible y minimizando los fallos de proceso.

2.3. FUNCIONAMIENTO

Para realizar las diferentes formas, la máquina precisará de una embutidora previa, que permitirá una entrada continua de producto cárnico procesado y semicongelado en forma de masa, a una presión determinada.

El producto pasa a través de uno de los tres diafragmas con cuchillas de la formadora, que se abren y se cierran simultáneamente y de forma continua desde el arranque hasta la parada de la máquina. La forma del producto final depende de la presión de entrada de materia prima y la velocidad de apertura y cierre del diafragma. Por su parte, el diámetro depende del diámetro de apertura del diafragma.

La presión de la embutidora depende de la tecnología de la propia embutidora. Si ésta se establece de forma manual en la embutidora, es necesario un proceso de ajuste iterativo previo al funcionamiento normal para poder controlar este parámetro.

Esta máquina funciona de forma manual mediante un motor de inducción y un sistema mecánico para la apertura y cierre de los diafragmas de forma simultánea. La apariencia de la formadora se puede ver en la Ilustración 3.

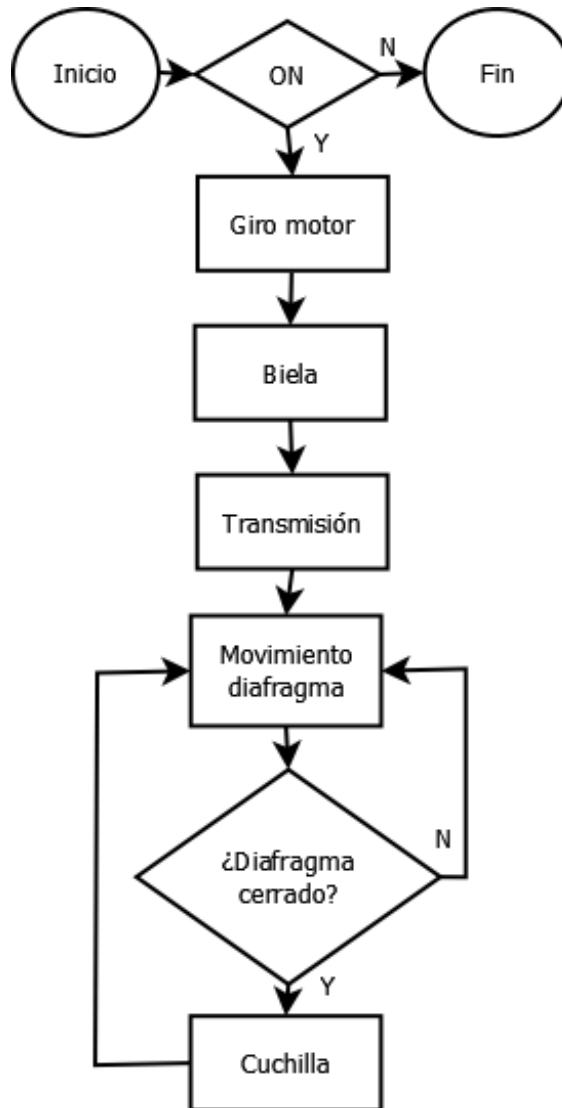


Ilustración 5. Diagrama funcionamiento 1FCD3

Análisis de mejoras operativas de la formadora cárnica de diafragma 1FCD3

El funcionamiento actual de la máquina es sencillo, según la Ilustración 5: una vez el cuadro eléctrico tiene tensión, se arranca la máquina mediante un selector de dos posiciones (ON/OFF). Entonces, el motor de jaula de ardilla comienza a girar a velocidad nominal constante. Este movimiento rotatorio se convierte en un movimiento lineal mediante una pequeña biela (Ilustración 6) metálica de acero inoxidable compatible con alimentación (AISI-304).



Ilustración 6. Giro del motor con visualización de la biela y parte de la transmisión

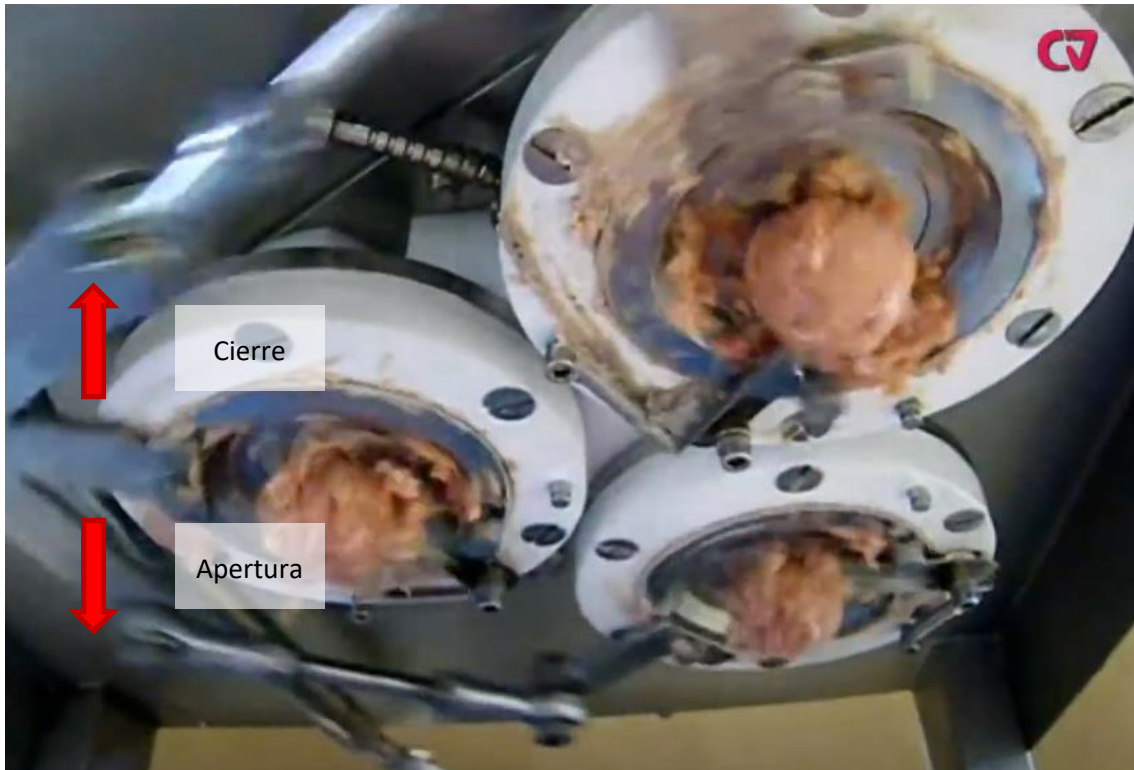


Ilustración 7. Punto intermedio de funcionamiento

El movimiento lineal pasa a una transmisión metálica en forma de “E”. En la Ilustración 7 se puede ver una indicación del movimiento de la transmisión. Un pistón conectado a cada extremo de la pieza de transmisión convierte este movimiento lineal a la apertura (Ilustración 8) y cierre (Ilustración 9) de los diafragmas. Los tres diafragmas se abren y cierran simultáneamente.

Cuando el diafragma está completamente cerrado, una cuchilla realiza un barrido paralelo al mismo, cortando restos de carne que hayan podido quedar pegados y ayudando a su desprendimiento.

Este proceso se repite de forma continua hasta que se apaga la máquina mediante el selector ON/OFF o cae la corriente. Es muy importante desconectar la embutidora previamente a apagar la formadora, debido a que no dispone de ningún sistema de seguridad frente a la presión ejercida por la carne en la alimentación de la máquina. Si se apaga la máquina con la embutidora trabajando y todos los diafragmas cerrados, se pueden ver deformados y dañar de forma permanente.

Con todo ello, a máxima presión de la embutidora y mínimo radio (15mm), la formadora es capaz de producir hasta 22 000 albóndigas cada hora.



Ilustración 8. Diafragmas abiertos

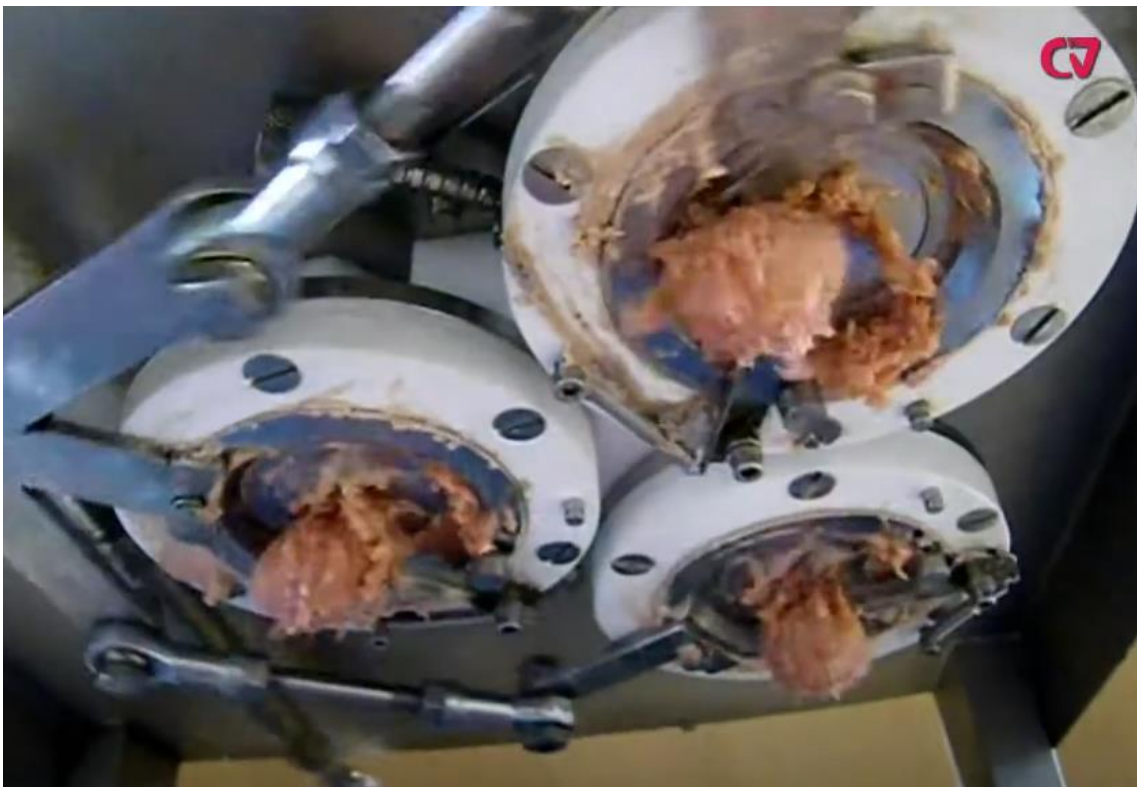


Ilustración 9. Diafragmas cerrados

CAPÍTULO 3. MODIFICACIONES Y MEJORAS

PROPUESTAS

3.1. MODIFICACIONES PROPUESTAS

En el presente trabajo se proponen las siguientes modificaciones a la formadora original 1FCD3:

- Sustitución del accionamiento mediante motor de inducción y sistema mecánico por un servomotor con control de posicionamiento, controlado por un autómata programable y gobernado por el usuario, bien desde una pantalla en el cuadro de la máquina o bien de forma remota.
El autómata programable gobierna el controlador del motor y se comunica con el usuario mediante la pantalla. Por tanto, la programación del funcionamiento se ha de llevar a cabo en el autómata, siendo necesario configurar el controlador. Él mismo controlará la posición del motor mediante señales rápidas conectadas al controlador, y éste le enviará información de diagnóstico por medio de comunicación Modbus RTU por el puerto serie (RS485).
- Reducción del número de diafragmas para disponer únicamente de 2 salidas de producto terminado. Esto es posible debido a que no existen restricciones por producción. A diferencia del diseño original, se propone que estas salidas funcionen de forma alterna. Es decir, cuando uno de los diafragmas esté en el punto de máxima apertura, el otro estará en el punto de cierre completo. Con esto, se dispone de un importante sistema de seguridad ya que siempre hay al menos un diafragma abierto. En caso de fallo de la máquina, aun con la embutidora conectada a presión, se evita la rotura de las láminas finas del diafragma por sobrepresión aguas arriba, ya que tiene desahogo por el diafragma abierto.
- La máquina pasa de tener un control manual de funcionamiento y velocidad de giro constante (velocidad de apertura y cierre del diafragma), a tener un control automático en el que, por medio de parámetros como forma, ciclos por minuto, tiempo de apertura, tiempo de cierre y tiempo de espera (con diafragma abierto), el operario puede establecer un orden de trabajo de forma rápida o también un trabajo profundamente personalizado con pocos minutos de configuración.

Estas modificaciones se llevan a cabo para implementar mejoras en la máquina y obtener un control más preciso. Además, la tasa de fallos (es decir, número de fallos por hora de operación) de un componente eléctrico es un orden de magnitud menor que la de uno mecánico [7]. Por tanto, desde el punto de vista de mantenimiento, será preferible emplear un servomotor a una biela con transmisión mecánica.

3.2. MEJORAS

Un motor de inducción girando a velocidad constante permite conseguir formas redondeadas para la elaboración de albóndigas mediante una disminución de la presión de la embutidora. Por su parte, un aumento de la presión permite conformar croquetas.

En la máquina 1FCD3, la función original es la formación de albóndigas. No obstante, en lo que respecta a este proyecto, se exige la formación de otras formas de productos terminados, bien sea croquetas u otras. Con la actualización de la máquina consistente en la sustitución de la tecnología original por un servomotor con control de posición, además se pueden elaborar otras formas variadas que en otro caso solo se podrían elaborar a mano.

Al disponer de un panel de operador visual, se consiguen ventajas en cuanto a facilidad de manejo de la máquina y en cuanto a funcionalidad: con simples dibujos y esquemas, el operador puede entender qué parámetros modifica. Mediante recetas, se pueden generar órdenes de trabajo de forma directa sin parametrización de la máquina por parte del operario.

Por último, al dotar a la máquina de un control eléctrico, tenemos la posibilidad de integrarla en un sistema 4.0 con acceso remoto. Estas funciones sirven al fabricante para realizar mantenimiento de sus máquinas o al Departamento de Producción para generar informes periódicos de funcionamiento y producción, pudiendo enviar estos informes incluso por correo electrónico.

En definitiva, con las mejoras establecidas se podrán formar, además de las croquetas que ya se formaban con la máquina original, productos tan variados como los ejemplificados en la Ilustración 10, Ilustración 11, Ilustración 12 y Ilustración 13.



Ilustración 10. Kibbeh libanés



Ilustración 11. Korokke japonés



Ilustración 12. Coxhinas brasileñas



Ilustración 13. Croquetas

CAPÍTULO 4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

4.1. TECNOLOGÍA

Para satisfacer los requerimientos técnicos e implementar las mejoras deseadas, hay diferentes tecnologías disponibles en el mercado con características diversas. El primer lugar, se estudiará las diferentes alternativas tecnológicas.

Las alternativas tecnológicas disponibles son las siguientes [8]:

4.1.1. ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO

Se emplea la energía almacenada en forma de presión por un fluido no compresible, generalmente aceite, para producir movimiento. En este caso, se emplearían cilindros hidráulicos.

Ventajas

Capacidad de grandes potencias
Operación y control del sistema sencilla

Limitaciones

Peligro de fugas
Instalaciones muy caras
Respuesta lenta
Distancia de aplicación corta
Muy alta tasa de fallo [7]



Ilustración 14. Cilindro hidráulico de Bosch-Rexroth obtenido de www.boschrexroth.com

La solución mediante pistones hidráulicos (como el ejemplo de la Ilustración 14) no permite elaborar múltiples formas, lo cual es un requisito de la mejora de la máquina 1FCD3. Además, requiere de una instalación previa y supone mayores problemas y costes de mantenimiento. Como no se busca una potencia alta, se descarta esta solución. De hecho, no se han encontrado

en el mercado pistones hidráulicos de pequeñas dimensiones como los que serían necesarios para la aplicación.

4.1.2. ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO

Se emplea la energía de la expansión de un fluido compresible, generalmente un gas, para producir movimiento. En este caso, se emplearían cilindros neumáticos.

Ventajas

Sistemas de control sencillos
Respuesta rápida del sistema
Piezas económicas
Potencias intermedias
Distancia de aplicación elevada

Limitaciones

Costoso mantenimiento
Múltiples piezas, sistemas complejos
Alta tasa de fallo [7]
Necesaria instalación de aire comprimido



Ilustración 15. Cilindro neumático de Festo obtenido de www.festo.com

Así como en el caso de los cilindros hidráulicos, es necesario disponer de una instalación propia de aire comprimido, o en su defecto de un compresor. A pesar de ajustarse más a las necesidades de la aplicación por su mayor nivel de control y menor precio, el mantenimiento sigue siendo más costoso que el actual y no es capaz de desarrollar diferentes formas, lo que es objetivo necesario. Es por ello que se descarta la opción de cilindros neumáticos (como el ejemplo de la Ilustración 15) para la aplicación.

4.1.3. ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte energía eléctrica en movimiento rotatorio. En el caso de accionamiento eléctrico, un motor sería el accionamiento adecuado para la aplicación, conforme está diseñado en la máquina original, con un sistema mecánico de pistones.

El requerimiento necesario para alimentar un sistema de este tipo es únicamente una toma de corriente de la potencia necesaria, monofásica o trifásica, según el motor.

Ventajas

Limitaciones

Mantenimiento mínimo	Potencias generalmente pequeñas
Baja tasa de fallo [7]	Mayores precios para iguales potencias
Fácil adaptación a cualquier tipo de sistema	Menor capacidad de anticipación al fallo [7]
Bajo consumo y alto rendimiento	

Al tratarse de una aplicación de baja potencia, el precio de la solución eléctrica puede ser muy competitivo. Además, el mantenimiento requerido y la tasa de fallos son mucho menores.

	<i>Electricidad</i>	<i>Hidráulica</i>	<i>Neumática</i>
<i>Fuente</i>	Red eléctrica	Motor eléctrico, motor de combustión interna	Motor eléctrico, motor de combustión interna
<i>Almacenamiento de la energía</i>	Limitada (batería)	Limitada (acumulador)	Buena (pulmón o calderín)
<i>Sistema de distribución</i>	Excelente, rápida y económica	Limitada (de forma local)	Buena (para toda una planta)
<i>Coste de la energía</i>	Bajo	Medio	Alto
<i>Generación de movimientos lineales</i>	Movimientos pequeños mediante solenoide. Otros movimientos mediante conversión mecánica	Cilindros. Se pueden conseguir fuerzas muy altas y con precisión	Cilindros. Fuerza de tipo medio
<i>Generación de movimientos rotativos</i>	Por motor AC y DC, regulación de velocidad en los DC y bajo coste en los motores AC	Velocidades bajas. Buen rendimiento. Par elevado y de precisión	Amplio rango de velocidad. Par pequeño. Rendimiento bajo
<i>Control de fuerza</i>	Solo motores DC	Controlable	Controlable
<i>Otros</i>	Hay que protegerlos para trabajar en áreas clarificadas. Necesitan de una protección exterior contra las sobrecargas, la cuál es cara	Presentan el inconveniente de las fugas de fluido hidráulico	Ruidoso

Tabla 1. Comparativa según energía [8]

Según la Tabla 1, para el empleo de un accionamiento hidráulico o neumático es necesario un motor como fuente, que puede ser motor eléctrico. Acerca de los requerimientos de la aplicación objeto de estudio:

- No resulta necesario almacenar energía.
- Se requieren movimientos lineales de baja potencia, pero alta precisión, sin necesidad de un control fino de fuerza.
- Las protecciones para sobretensiones en pequeñas potencias resultan económicas.

Por ello, se selecciona el motor eléctrico como solución idónea ya que el coste de la energía eléctrica requerida para su funcionamiento es bajo y tiene posibilidad de un control preciso.

Una vez definido que el motor será eléctrico, existen diferentes opciones con diferentes características tanto técnicas como económicas o de disponibilidad [9].

- **Motor de corriente alterna síncrono**



Ilustración 16. Motor de corriente alterna síncrono TDMK obtenido de julunmotor.en.made-in-china.com

Su movimiento es posible gracias a las fuerzas electromagnéticas originadas entre conductores del estátor y el campo magnético del rotor. Es por ello que la frecuencia de alimentación determina la velocidad de giro del motor, lo que limita su aplicabilidad.

En la Ilustración 16 hay un ejemplo de un motor síncrono de gran potencia, aplicaciones habituales de este tipo.

- **Motor de corriente continua**



Ilustración 17. Motor corriente continua Bosch obtenido de www.amazon.es

En el caso de los motores de corriente continua, al igual que en los síncronos, es necesaria la inversión de las corrientes en el rotor para que éste gire. Por ello, estos motores pueden ser bien autoexcitados (con colector) o bien brushless (sin escobillas), con imanes permanentes.

En la Ilustración 17 se muestra un ejemplo de un pequeño motor de continua para aplicaciones muy sencillas.

- **Motor asíncrono de inducción**



Ilustración 18. Motor de corriente alterna asíncrono Hanzel obtenido de www.hanzelmotor.com

La mayoría de motores en la industria son de este tipo. El campo magnético se produce en el estátor, que induce una corriente en el rotor. Al no haber conexión eléctrica en el rotor (parte móvil del motor) es más robusto y sencillo.

En la Ilustración 18 se muestra un típico motor de jaula de ardilla, utilizado en multitud de aplicaciones industriales.

A parte de los tipos de motor, existen tipologías específicas para diferentes funciones o aplicaciones específicas. Por ejemplo, el **servomotor**, que puede ser bien de corriente continua o bien de corriente alterna síncrono.

Se emplea el término servomotor para aquellos motores eléctricos con realimentación de lazo cerrado con encoder. Un encoder es un dispositivo electromecánico que lee la posición del eje de giro del motor y envía esta información a su controlador. Puede ser absoluto si cada vez que se alimenta eléctricamente necesita establecer su posición de cero inicial o incremental si al alimentarlo eléctricamente toma su posición como inicial. El controlador cierra el lazo de control de posición del servomotor recalculando los movimientos con la información de posición real del eje.

Un servomotor tiene varios tipos de control: por velocidad, aceleración, par y/o posición. Su bajo momento de inercia y su elevada capacidad de sobrecarga le permite hacer movimientos muy rápidos, con grandes aceleraciones y deceleraciones. EA diferencia de los motores asíncronos, el servomotor siempre proporciona un par constante con independencia de la velocidad de giro, siempre y cuando no se supere la velocidad nominal. En tal caso, el par disminuirá [12].

Por las características de los requerimientos de la mejora, que exige la posibilidad de realizar diversas formas de producto final, existen dos posibilidades en cuanto a motor eléctrico:

- Emplear un motor asíncrono o de inducción, que es el que dispone la máquina original, acompañado de un variador de frecuencia.
- Emplear un servomotor y realizar un control de lazo cerrado con encoder.

Un variador de frecuencia no es capaz de hacer una regulación de un motor de inducción de forma tan rápida que no sea necesario bajar considerablemente el nivel de producción para obtener resultados de producto satisfactorios. Además, un motor de inducción puede aportar grandes pares, pero su control es muy poco preciso y no se puede trabajar con control de posición.

En cambio, con un servomotor se puede trabajar con un control de posición preciso. Por contrapartida, el coste de esta solución resulta más elevado. No obstante, se opta por esta solución porque es la única con la que se pueden cumplir las especificaciones del proyecto.

Dentro de los servomotores, se encuentran soluciones de motor de corriente continua con imanes permanentes, menos precisos que los síncronos, pero más económicos, habitualmente con control por posicionamiento. Además, al ser la velocidad del motor directamente proporcional a su tensión, en el caso de los motores de corriente continua esta velocidad máxima será menor.

Los servomotores comúnmente utilizados en industria son motores eléctricos síncronos desde pequeñas potencias (50 W) hasta potencias intermedias (15 kW). Por ejemplo, se emplean para los ejes de robots industriales.

4.2. ALTERNATIVAS PARA EL ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO

Debido a las pocas opciones de servomotor en corriente continua para industria que se encuentran en mercado, no se valora el servomotor en corriente continua y por tanto se busca la solución con un servomotor de corriente alterna. Se estudian las alternativas u opciones de diferentes marcas para la solución de la formadora.

4.2.1. SERVOMOTOR

En primer lugar, se selecciona un servomotor de corriente alterna y su controlador o drive. Se comparan en las marcas Omron, muy presente en la industria en Valencia, Panasonic, con una solución básica de precio muy competitivo y Festo, con soluciones muy potentes para posicionamiento de ejes. La comparativa de servomotores en la Tabla 2 tiene sus controladores correspondientes comparados en la Tabla 3.




<i>Marca</i>	<i>Panasonic</i>	<i>Festo</i>	<i>Omron</i>
<i>Modelo</i>	Minas A6	EMMT-AS	Serie G
<i>Imagen</i>			
<i>Tensión</i>	AC	AC	AC
<i>Modo encoder</i>	Incremental y absoluto	Incremental o absoluto	Incremental o absoluto
<i>Resolución encoder</i>	23bits/vuelta	19 bits/ vuelta	10000 pasos/vuelta
<i>Índice de protección (IP)</i>	IP67	IP67	IP65
<i>Precio aproximado</i>	300 € [10]	700 €	590 € [10]
<i>Plazo</i>	1 semana [10]	4 semanas	1 semana [10]

Tabla 2. Comparativa de servomotores

4.2.2. CONTROLADOR







<i>Marca</i>	<i>Panasonic</i>	<i>Festo</i>	<i>Omron</i>
<i>Modelo</i>	Minas A6SG	CMMT-AS	Serie G
<i>Imagen</i>			
<i>Control</i>	Posición	Posición, velocidad y momento	Posición, velocidad y par
<i>Entrada de control</i>	Pulsos	Pulsos	Analógico/pulsos
<i>Frecuencia respuesta</i>	3.2kHz	8 kHz	1kHz
<i>Software programación</i>	Panaterm (gratuito)	Festo Automation Suites (gratuito)	CX-One
<i>Seguridad</i>	STO	STO, SS1, SBC	-
<i>Comunicaciones</i>	Modbus RTU	EtherCAT	Modbus RTU
<i>Precio aproximado</i>	430 € [10]	1200 €	750 € [10]
<i>Plazo</i>	1 semana [10]	4 semanas	1 semana [10]

Tabla 3. Comparativa de controladores

4.2.3. AUTÓMATA PROGRAMABLE

Para seleccionar el autómata, se valoran las tres mismas marcas para facilitar tanto programación como comunicaciones entre los equipos, y tener garantías de su funcionamiento y compatibilidad. Estos equipos se comparan en la Tabla 4.

<i>Marca</i>	<i>Panasonic</i>	<i>Festo</i>	<i>Omron</i>
<i>Modelo</i>	FP-X	CPX-E	CJ2
<i>Imagen</i>			
<i>Ampliable</i>	Sí	Sí	Sí

Análisis de mejoras operativas de la formadora cárnica de diafragma 1FCD3

<i>Capacidad programa</i>	16k pasos	12MB	8k pasos
<i>Memoria variables</i>	8k palabras	120kB datos remanentes	8k palabras
<i>Reloj en tiempo real</i>	Sí	Sí	Sí
<i>Comunicaciones</i>	Modbus RTU	EtherCAT	Modbus RTU
<i>Software</i>	FPWin (gratuito)	Codesys V3 (abierto)	CX-One
<i>Precio aproximado</i>	220 € [10]	1100 €	320 € [10]
<i>Plazo</i>	1 semana [10]	4 semanas	1 semana [10]

Tabla 4. Comparación de autómatas

4.2.4. PANTALLA

Para finalizar con la selección de equipos, se valoran alternativas de pantalla de operador. Se incluye en la valoración el fabricante de pantallas italiano Exor que, aparte de su marca propia, tiene gran parte de su fabricación dedicada a la labelización para otras marcas, es decir, fabrica las pantallas que otras marcas tienen en su catálogo. Por ejemplo, Festo dispone en su catálogo de pantallas de modelos descatalogados de Exor. No obstante, Panasonic sí dispone de los modelos que son comercializados actualmente también por Exor con diferente nombre e idénticas características.

Es por ello que, a la hora de valorar pantallas, se añade a la tabla la opción de Exor, descartándose directamente la de Festo. Las características de las pantallas de Panasonic y Exor son idénticas salvando opciones de software que no afectan a la aplicación. Se mantiene la alternativa de Omron para completar la comparativa de la Tabla 5.




<i>Marca</i>	<i>Panasonic</i>	<i>Exor</i>	<i>Omron</i>
<i>Modelo</i>	HMe4	eSmart04M	Serie NB
<i>Imagen</i>			
<i>Tacto</i>	Resistiva	Resistiva	Resistiva
<i>Software</i>	HMWin (gratuito)	JMobile	NB-Designer
<i>Precio aproximado</i>	300 € [10]	200 €	380 € [10]
<i>Plazo</i>	1 semana [10]	1 semana	1 semana [10]

Tabla 5. Comparativa de pantallas

4.2.5. ACCESO REMOTO

El acceso remoto consiste en dotar a la máquina de internet para adquirir la posibilidad de acceder a sus equipos (tanto para visualizar como para reprogramar) desde cualquier ordenador únicamente con una conexión a internet.

La solución más habitual para disponer de acceso remoto en una máquina es añadir un router a tal fin, de uso industrial y con los estándares de seguridad requeridos en el ámbito. No obstante, empiezan a haber pantallas y autómatas que disponen de un sistema de acceso remoto industrial integrado de forma nativa o bien con opción de ampliación o activación. Es el caso de la pantalla de Exor y, por tanto, la de Panasonic.

En la Tabla 6 se valorará tanto la opción de activación del acceso remoto ofrecido por la pantalla como la opción de añadir un router externo. Las marcas a comparar son Secomea y eWon.




Marca	Exor	Secomea	eWon
Modelo	Corvina Cloud	SiteManager	Cosy 131
Imagen			
Precio aproximado	90 €/pantalla	180€/router	250€/router
Plazo	1 semana	1 semana	1 semana

Tabla 6. Comparativa de sistemas de acceso remoto

4.3. SELECCIÓN

Para el nuevo diseño de la máquina, se seleccionan los diferentes componentes a emplear.

Por facilidad a la hora de comunicación entre equipos, garantía de un soporte técnico integral y posibilidad de conseguir un mejor precio a la hora de comprar un pack, se opta por utilizar la solución completa del control de una misma marca.

Se opta por la marca *Panasonic Electric Works* (de aquí en adelante, *Panasonic*) para el servomotor junto con su controlador y el autómata programable. Los precios de servomotor, controlador y autómata son los mejores entre las alternativas valoradas, teniendo los tres un plazo de una semana, completamente razonable. La resolución del encoder es suficiente para la precisión de movimiento requerida. El controlador puede trabajar en modo de control de posición y tiene una frecuencia de respuesta suficiente para la aplicación. Dispone de comunicación Modbus así como el autómata añadiéndole un casete de expansión. El programa del autómata requiere menos de 16k pasos y menos de 8k variables, por lo que el equipo de Panasonic se adapta a las necesidades de la aplicación. Además, los softwares son gratuitos.

Para la pantalla, se opta por la marca *Exor International*, completamente compatible con *Panasonic* debido a que es fabricante de las pantallas *Panasonic*, disponiendo de un precio más ajustado además de mayores prestaciones en cuanto a conectividad. Además, ofrece la opción de conexión remota, lo que aporta un enorme valor añadido a la solución global de la máquina y es una gran ventaja competitiva en cuanto a funcionalidad. Es por ello, que no se requiere un router adicional para la solución del acceso remoto, sino la habilitación propietaria de *Exor*, llamada *Corvina Cloud*.

4.3.1. SERVOMOTOR



Ilustración 19. Servomotor Minis A6 de Panasonic [11]

Se opta por un servomotor para obtener un control preciso y rápido. Del Catálogo Resumen de *Panasonic* [12] obtenemos toda la información al respecto.

En la Ilustración 19 se representa el modelo concreto de servomotor seleccionado, el **MSMF042L1U1**, de la familia Minis A6.

El servomotor de *Panasonic* seleccionado tiene un encoder incremental y absoluto de alta resolución (23bits/vuelta, 8.38 millones ppr).

Se trata de un motor de baja inercia, con velocidad nominal de 3000 rpm, aunque puede llegar a alcanzar una velocidad máxima de 6000rpm.

Tiene una rotación de motor regular y un diseño muy compacto con núcleo dividido y retén de aceite.

Este motor tiene una potencia de 400W, con un par nominal de 1.27Nm. Mecánicamente, es un motor de eje con chaveta.

En la Tabla 7 se detallan las características del motor según fabricante.

<i>Motor model</i>	<i>MSMF042L1U1</i>
<i>Brake</i>	Without
<i>Oil seal</i>	With
<i>Output rating [w]</i>	400
<i>Matched drive</i>	MBDLT25SF
<i>Power supply of drive [V(AC)]</i>	200
<i>Rated torque[N·m]</i>	1.27

<i>Continuous stall torque [N·m]</i>	1.27
<i>Max intanteneous speed [N·m]</i>	3.82
<i>Rated current [A(rms)]</i>	2.4
<i>Max instanteneous current [a(o-p)]</i>	10.2
<i>Rated rotational speed [r/min]</i>	3000
<i>Max rotational speed [r/min]</i>	6000
<i>Rotor inertia [$\cdot 10^{-4}$ kg·m²]</i>	0.27

Tabla 7. Características servomotor Minas A6 [11]

En la Ilustración 20 se representa la evolución del par con la velocidad, donde se puede ver la disminución del par al superar su velocidad nominal y cómo afecta también la temperatura ambiental al par.

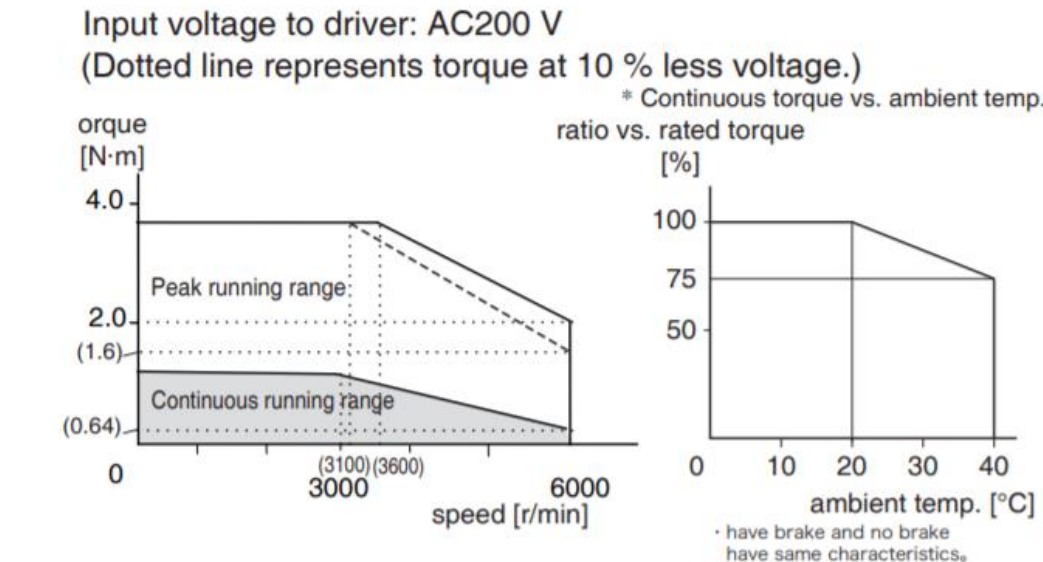


Ilustración 20. Evolución del par del motor MSMF042L1[11]

Por último, en la Tabla 8 se detallan las cargas según se muestran en la Ilustración 21.

<i>Motor series</i> (Unit: N 1kgf=9.8N)	<i>Motor output</i>	<i>At assembly</i>		<i>During running</i>		
		Radial thrust	Thrust load		Radial thrust	Thrust load A and B-direction
			A-direction	B-direction		
MSMF	400 W	392	147	196	245	98

Tabla 8. Cargas permitidas en el eje del motor MSMF042L1 [11]

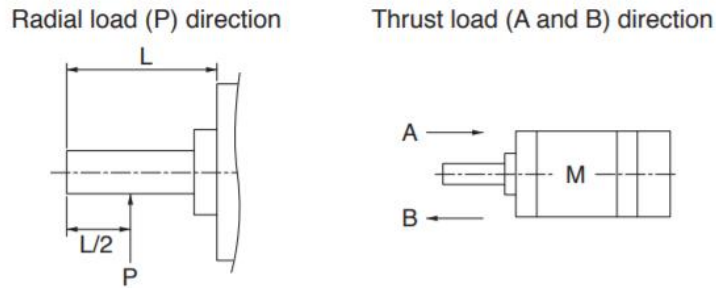


Ilustración 21. Cargas permitidas en el eje del motor MSMF042L1 [11]

4.3.2. CONTROLADOR



Ilustración 22. Servo driver Minas A6SG de Panasonic [11]

El controlador empleado será el modelo multifunción A6SG, con salida de pulsos de 4Mpps (millones de pulsos por segundo) y entradas de hasta 8Mpps.

En la Ilustración 22 se encuentra la imagen del modelo exacto que se emplea, el **MBDLT25SF**.

Incorpora la función de seguridad STO (Safe Torque Off) y protocolo de comunicación Modbus RTU. Su alimentación es monofásica o trifásica configurable, a 200 VAC. Por otro lado, dispone de control de posicionamiento por pulsos.

La marca clasifica sus controladores por su tamaño. En el caso de este modelo, se correspondería con el tamaño B.

El esquema electrónico interno del variador se muestra en la Ilustración 23.

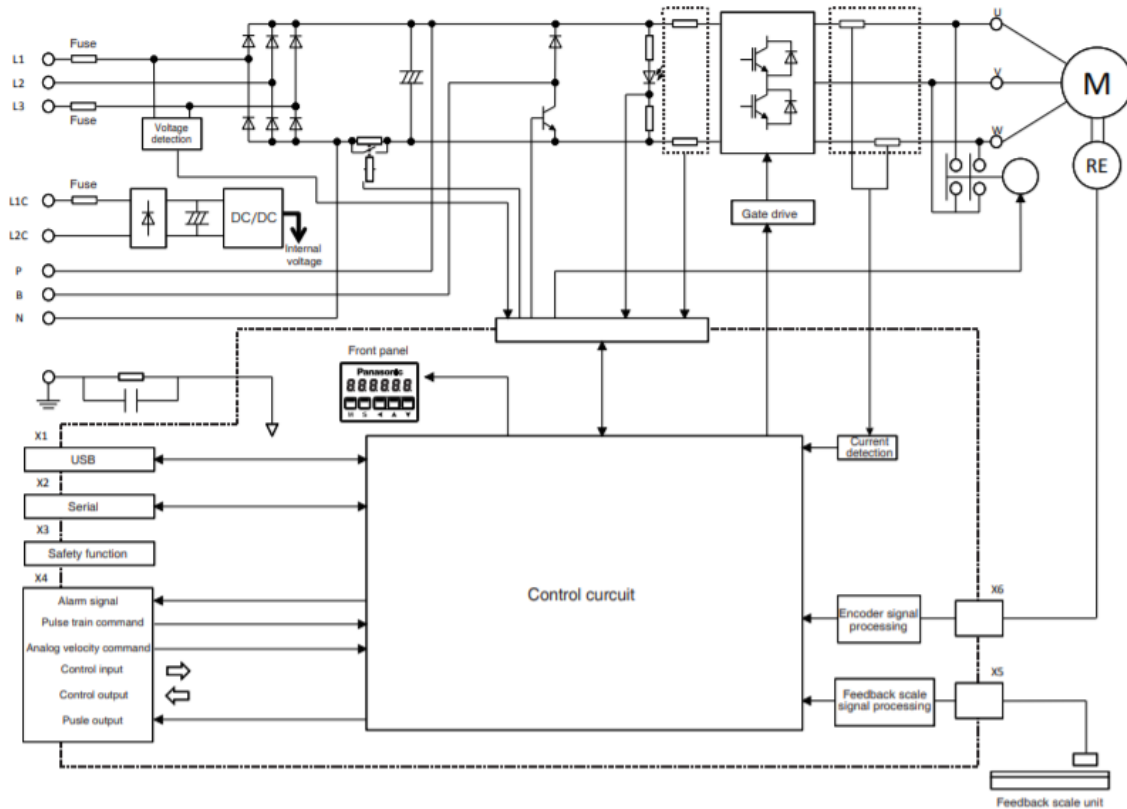


Ilustración 23. Esquema electrónico del controlador [11]

4.3.3. AUTÓMATA PROGRAMABLE



Ilustración 24. Autómata FP-X de Panasonic [12]

En la misma línea, se selecciona un autómata programable compacto y básico, pero con funciones suficientes para la comunicación tanto con el controlador del servo como con la pantalla.

El modelo escogido es de la familia *FP-X*, un autómata programable compacto con terminales a tornillo, ampliable mediante casetes acoplados frontalmente a su estructura y expansiones añadidas en su lateral. Concretamente, se trata del modelo **AFPXC14PD**, representado en la Ilustración 24.

Se empleará la CPU de 16k pasos, con 8 entradas y 6 salidas a transistor PNP (de 0.5 A) en chasis y con alimentación a 24 VDC.

Es una CPU con opción de comunicación Modbus RTU maestro/esclavo con funciones de posicionamiento.

Sobre este equipo, en la Ilustración 25 se ve representado cómo afecta la temperatura a las señales conectadas al equipo.

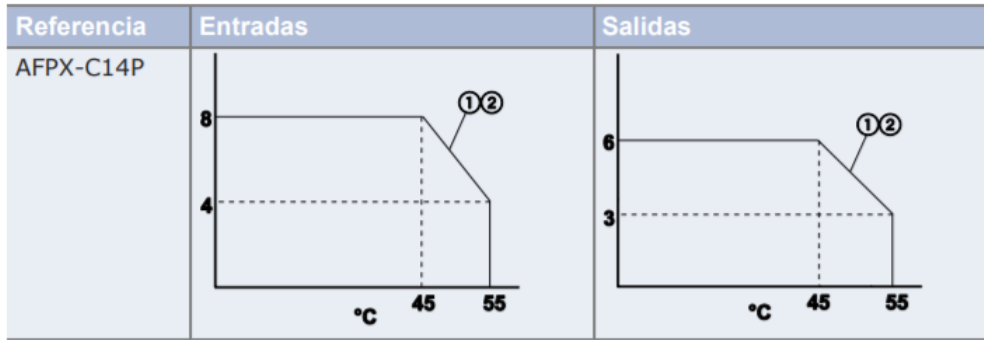


Ilustración 25. Número de señales que pueden estar simultáneamente en ON [13]

4.3.4. CASETE DE EXPANSIÓN

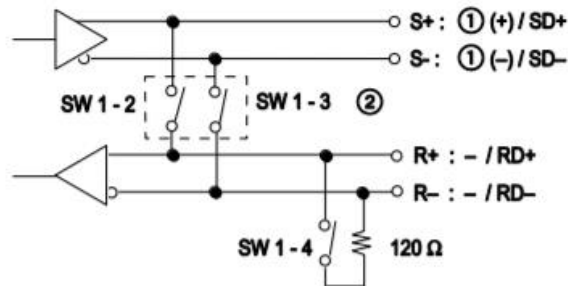


Ilustración 26. Casete expansión FPX-COM3 de Panasonic [13]

El autómata no dispone de protocolo de comunicación de forma nativa. El puerto serie que se encuentra en su frontal sirve solo para su programación.

Se amplía el chasis con un casete **AFPXCOM3** (Ilustración 26.) con un puerto serie configurable para la comunicación con el controlador y la pantalla. Este casete de comunicaciones dispone de 1 puerto RS485 a 2 hilos y de 1 puerto RS422 a 4 hilos.

El esquema electrónico de este casete de comunicaciones se muestra en la Ilustración 27.



- ① Línea de transmisión
- ② Interruptor de selección RS485/RS422

Ilustración 27. Esquema electrónico casete COM3 de Panasonic [13]

4.3.5. PANTALLA



Ilustración 28. Pantalla eSmart04M de Exor
[14]

Para la pantalla se opta por el modelo **eSmart04M** de *Exor International* en la Ilustración 28.

Debido al pequeño tamaño de la máquina, una pantalla de 4.3 pulgadas se juzga suficiente.

Se trata de un terminal resistivo a color con pantalla LED panorámica 16:9, 64k colores, que dispone de un puerto de comunicación RS232/RS422/RS485, un puerto USB y un puerto LAN 10/100. Es una pantalla multiprotocolo. En nuestro caso, únicamente utilizaremos la conexión RS485 para comunicar con el autómata y el puerto LAN para dotar a la máquina de conexión a internet.

Las características de la misma están detalladas según el fabricante en la Tabla 9

<i>Model</i>	<i>eSMART04M</i>
<i>Display/Backlight</i>	TFT Color / LED
<i>Colors</i>	64 K
<i>Resolution</i>	480X 272
<i>Diagonal (inches)</i>	4.3" widescreen
<i>Dimming</i>	Yes
<i>User memory</i>	60 MB Flash
<i>RAM</i>	512 MB DDR
<i>Serial Port</i>	RS-232, RS-485, RS-422 DB9 female software configurable
<i>Ethernet Port</i>	10/100 Mbit
<i>USB Port</i>	Host interface V2.0 max. 500mA
<i>Real Time Clock</i>	Yes
<i>Voltage</i>	24Vdc
<i>Current rating (at 24VDC)</i>	0.25A
<i>Weight</i>	0.4 kg

Tabla 9. Características pantalla eSmart04M [15]

4.3.6. ACCESO REMOTO



Ilustración 29. Logo Corvina Cloud 2.0

Los modelos de pantalla de la serie *HM* disponen de servidor web integrado HTML5 y soportan además acceso remoto mediante su plataforma *Corvina Cloud* (Ilustración 29) para acceder a dicho servidor Web de forma segura.

Con un código de licencia se da conectividad a una pantalla, mediante conexión VPN al servicio Corvina.

CAPÍTULO 5. SOLUCIÓN ADOPTADA

5.1. CICLOS DE TRABAJO

Se propone que la máquina siga un ciclo de trabajo continuo con unas variables fijadas previamente por el usuario, que determinarán la forma del producto obtenido.

5.1.1. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO

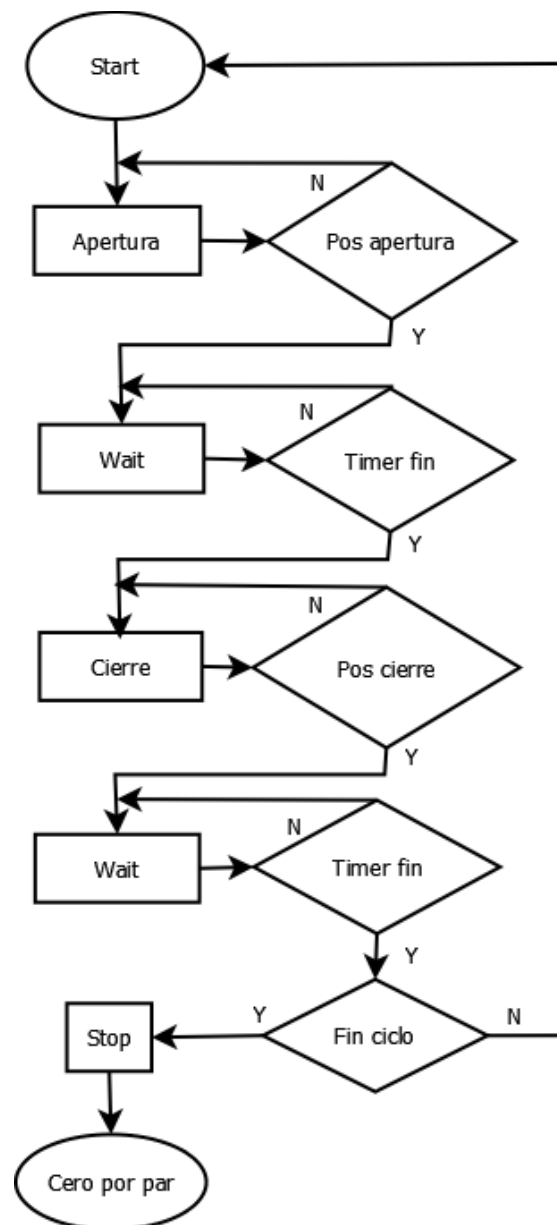


Ilustración 30. Ciclos de trabajo

El funcionamiento de cada los diafragmas es alternativo, es decir, cuando uno está completamente abierto, el otro está completamente cerrado. Cuando uno está abriéndose, el otro se está cerrando. A continuación, se desarrolla el ciclo de trabajo para el diafragma de referencia y mecánicamente se invierte el giro para el secundario.

Según se observa en la Ilustración 30, al iniciarse el funcionamiento de la máquina, el diafragma se abre hasta alcanzar la posición de apertura establecida, se mantiene en esta posición durante el tiempo que determina el programa para dar la forma deseada (unos pocos milisegundos para formas esféricas, pero por un mayor tiempo para la producción de croquetas) y se cierra de nuevo hasta la posición de cierre. Tras acabar cada ciclo, el diafragma se mantiene cerrado unos pocos milisegundos en que una cuchilla corta cualquier resto de alimento que no se haya desprendido del diafragma, y de nuevo comienza el ciclo si no se ha finalizado el lote.

Al acabar el lote, el motor busca la posición completamente abierta de las cuchillas del diafragma (su posición “cero”) con un movimiento de apertura hasta detectar un valor de par máximo establecido en los parámetros del controlador que significa que el diafragma está completamente abierto. En caso de que haya algún fallo en la embutidora y se mantenga la presión a la entrada de la formadora, no se dañan las cuchillas del diafragma por presión, pudiendo provocar deformaciones o incluso su rotura.

5.1.2. PARÁMETROS

Los **parámetros** necesarios para programar el funcionamiento de la máquina se representan gráficamente en la Ilustración 31 y se describen a continuación:

- ***Velocidad de formado***: número de ciclos o formas deseados por unidad de tiempo. Este dato se emplea para calcular la velocidad de cada ciclo. También sirve para ajustar la presión de la embutidora previa para que la forma obtenida sea la deseada.
- ***Apertura***: porcentaje de apertura del diafragma. Este parámetro define el diámetro del producto obtenido. Para una apertura máxima del 100%, el diámetro será el máximo posible que pueda desarrollar el diafragma de la máquina.
- ***Tramo de apertura***: porcentaje de tiempo de ciclo dedicado a la apertura del diafragma. Este parámetro queda normalmente definido al seleccionar la forma deseada, pero también se puede personalizar. Su variación permite, por ejemplo, formar lágrimas.
- ***Tramo de cierre***: porcentaje de tiempo de ciclo dedicado al cierre del diafragma. Tal como en el caso de tramo de cierre, este parámetro queda definido al seleccionar la forma. Para albóndigas o croquetas, sea cual sea su diámetro, el valor de tramo de apertura y cierre es el mismo.
- ***Inicio cierre***: este parámetro define el punto de inicio del cierre del diafragma. Se puede modificar también para diferentes formas de lágrimas o croquetas asimétricas.
- ***Lote***: número de piezas a producir. Este parámetro solo se establece cuando se trabaja en modo automático. Una vez se termina el número de ciclos indicados en el lote, la máquina para. Es importante no habilitar esta parada por lote si no se dispone de una embutidora automatizada capaz de detener la presión a la entrada del diafragma una vez se termine la operación.

En la Ilustración 31 se observa como el control de los tiempos de apertura, espera y cierre influye directamente sobre la forma del producto.

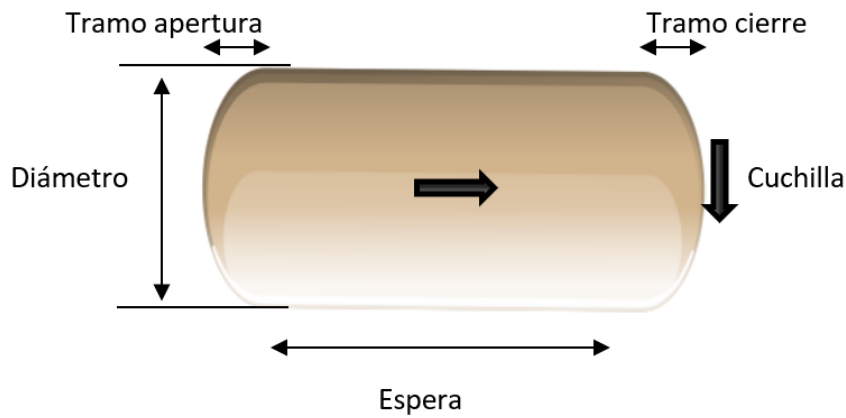


Ilustración 31. Croqueta con los parámetros de personalización de forma

5.2. DISEÑO ELÉCTRICO Y COMUNICACIONES

Para cablear esta aplicación (Ilustración 32), se ha de disponer de todos los elementos seleccionados previamente (controlador, servomotor, autómatas y pantalla), de una fuente de alimentación de 24VDC y 1A y de una toma de corriente de 220VAC.

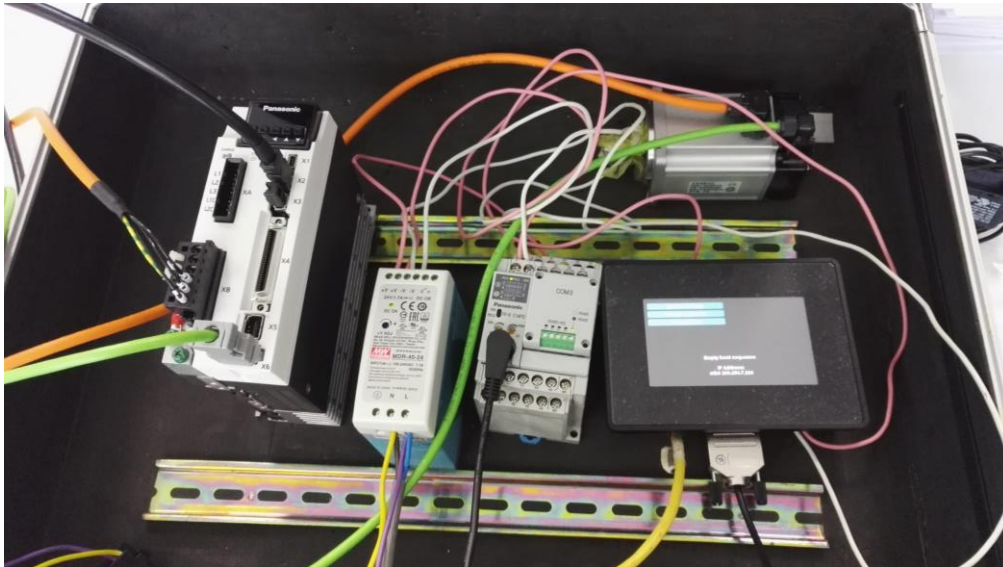


Ilustración 32. Aplicación en proceso de cableado

5.2. 1. ALIMENTACIÓN DE LOS EQUIPOS

En primer lugar, se alimentan todos los equipos. El controlador se puede alimentar con corriente trifásica o monofásica, pero en este caso se ha hecho uso de corriente monofásica por simplicidad. Según la Ilustración 33, la entrada de tensión se conecta en el terminal XA (así como

la tensión de control) y la salida en el XB. Para la conexión monofásica, se conecta L1 con L1C, y L3 con L2C, y se deja sin conectar L2[11].

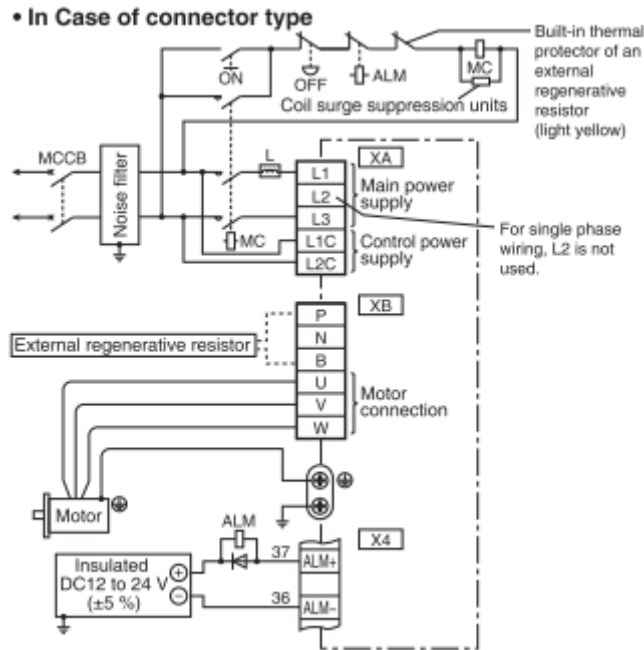


Ilustración 33. Alimentación del controlador [11]

Desde el conector XB del controlador, con el cable específico se conecta la alimentación del motor según la Ilustración 34.

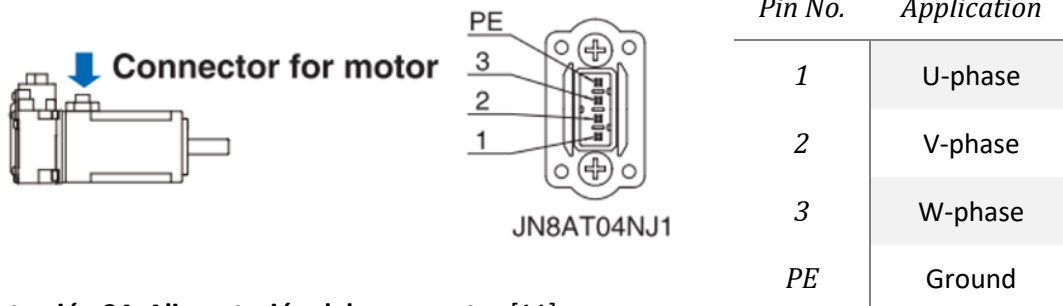


Ilustración 34. Alimentación del servomotor [11]

La alimentación del autómatas es de 24VDC, por lo que se conectan los terminales positivo y negativo a la fuente de alimentación según la Ilustración 35, donde (1) es el disyuntor, (2) la fuente de alimentación DC aislada, (3) es el terminal de alimentación eléctrica (24VDC) y (4) el terminal de conexión a tierra[13].

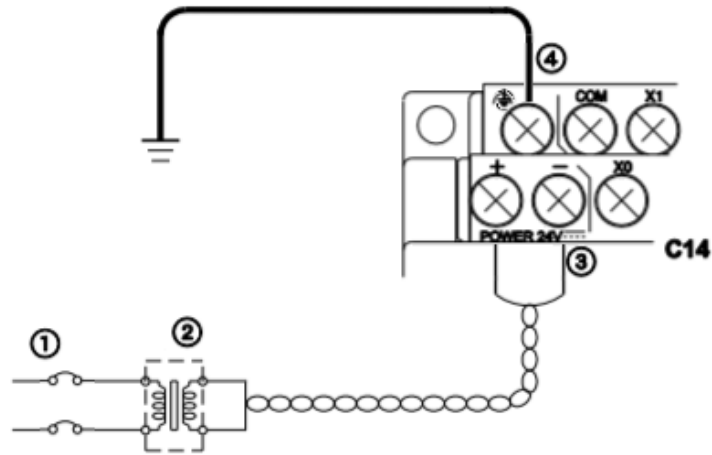


Ilustración 35. Alimentación del autómata programable [13]

La alimentación de la pantalla es también a 24VDC, mediante el conector de la Ilustración 36. Se conectan nuevamente los terminales positivo y común a la fuente de alimentación, así como la tierra.

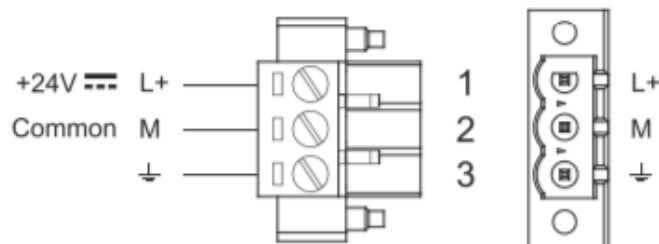


Ilustración 36. Alimentación de la pantalla de operador [14]

5.2. 2. CONEXIONADO PARA LA APLICACIÓN

El frontal del controlador (Ilustración 37) dispone además de conectores desde X1 hasta X6 para las diferentes interconexiones necesarias para su manejo.

Como se indica en la Ilustración 37, el conector X1 sirve para la programación del equipo, conectándolo con el ordenador con un cable mini USB. El conector X2 dispone de la comunicación serie que permite la comunicación con el autómata. En el conector X3 se cablean si se desean las funciones de seguridad.

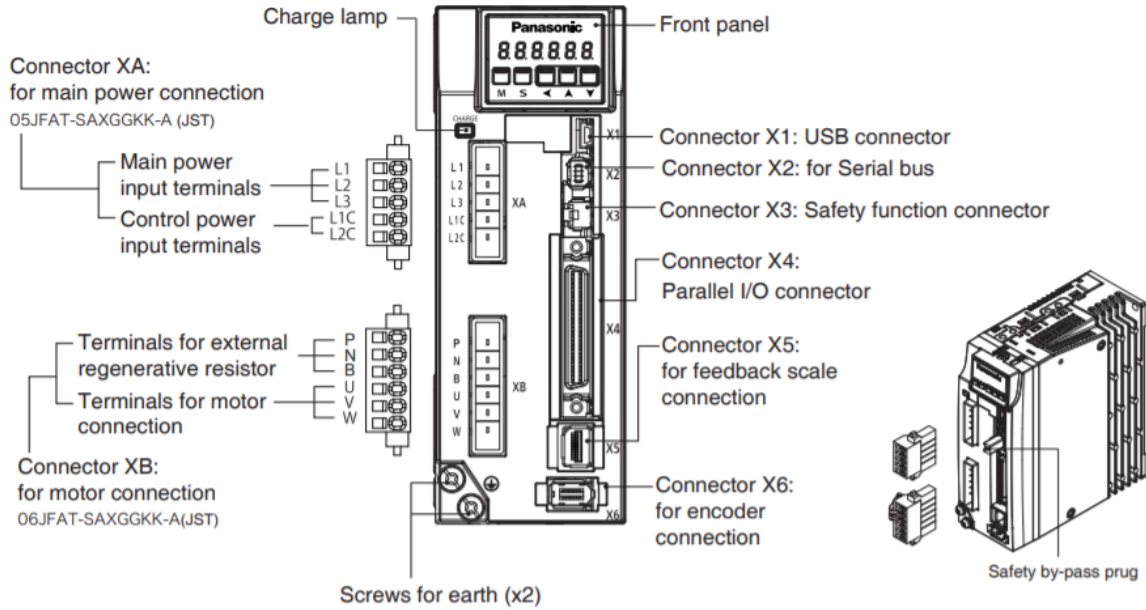


Ilustración 37. Esquema frontal controlador talla B [11]

En la Ilustración 38 se representa con mayor detalle los terminales del conector X4 de señales.

El control de posición se realiza mediante conexión por pulsos, que es la solución más rápida y efectiva para la aplicación, ya que cualquier comunicación disponible en los equipos tendría una velocidad insuficiente para el control de posición. Según se ve en la Ilustración 38 y conforme está detallado en el Esquema eléctrico de potencia, se procede a cablear el conector X4 del drive para la transmisión de pulsos.

Análisis de mejoras operativas de la formadora cárnica de diafragma 1FCD3

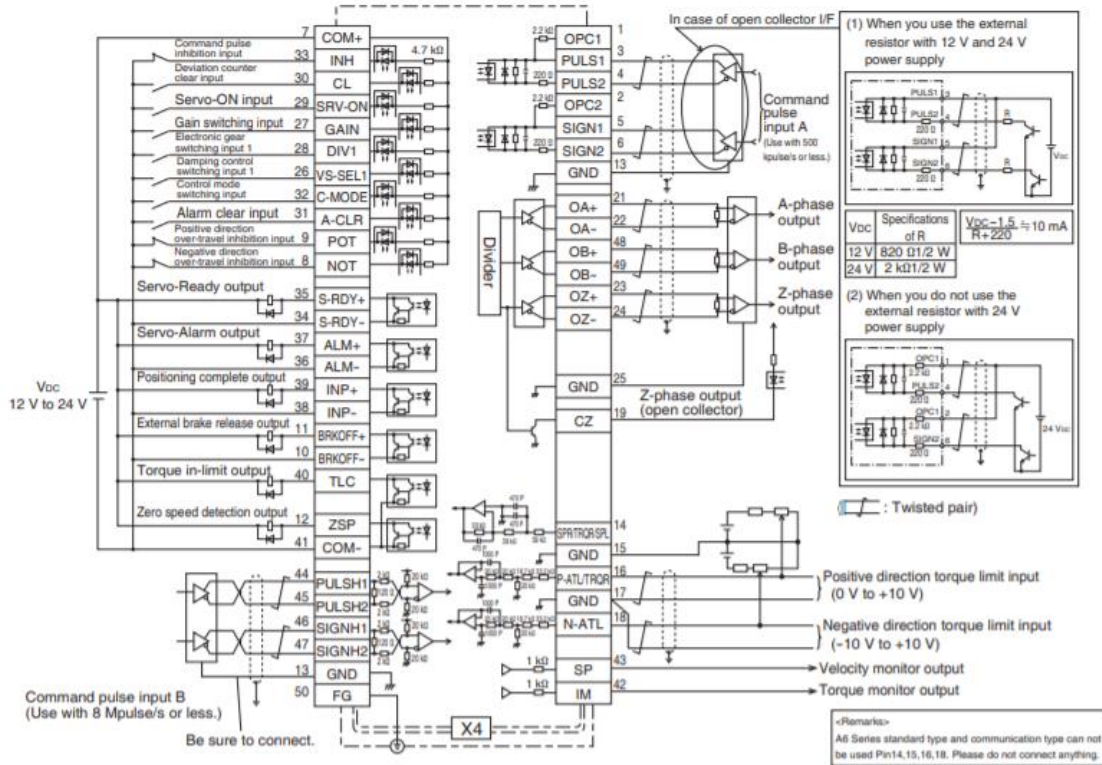
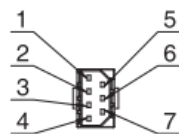
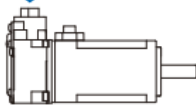


Ilustración 38. Conexión control de posición X4 [11]

Por último, se conecta en el conector X6, que es la señal del encoder, con el servomotor.

Connector for encoder



JN6CR07PM2
JN6CR07PM4

Ilustración 39. Conexión servomotor encoder [11]

Pin No.

Application

1

FG(SHIELD)

2

BAT-

3

E0V

4

PS

5

BAT+

6

E5V

7

PS

Por otra parte, el mapa de terminales del autómeta, visible en la Ilustración 40, resulta más sencillo e intuitivo. A parte de los terminales de alimentación eléctrica de CC (1) ya vistos, en la parte superior se encuentran los terminales de entrada (2). En la parte inferior hay algunos tornillos reservados (3) y también se encuentran los terminales de salida (4) y su alimentación (5).

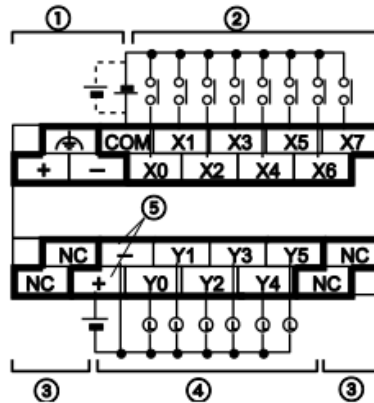


Ilustración 40. Disposición de pines FPX0-C14P [13]

En su frontal (Ilustración 42) se encuentra también el puerto serie de programación (RS-232 a USB). Su pineado se desglosa en la Ilustración 41.

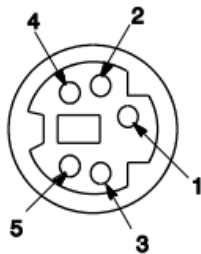


Ilustración 41. Pineado conector serie del autómeta [13]

<i>Pin</i>	<i>Nombre de la señal</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Dirección de la señal</i>
1	Tierra	SG	-
2	Transmisión de datos	SD	CPU -> Dispositivo externo
3	Recepción de datos	RD	CPU <- Dispositivo externo
4	(Sin usar)	-	-
5	+5V	+5V	CPU -> Dispositivo externo

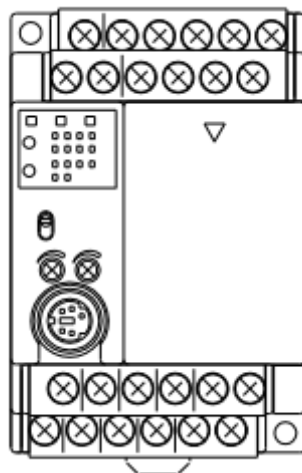


Ilustración 42. Frontal del autómeta [13]

Para completar el conexionado referente al autómata, queda la conexión y configuración del casete de comunicación de la Ilustración 43. Se observa en sus terminales un LED (1) que indica en modo de funcionamiento y el esquema del bloque de terminales (2).

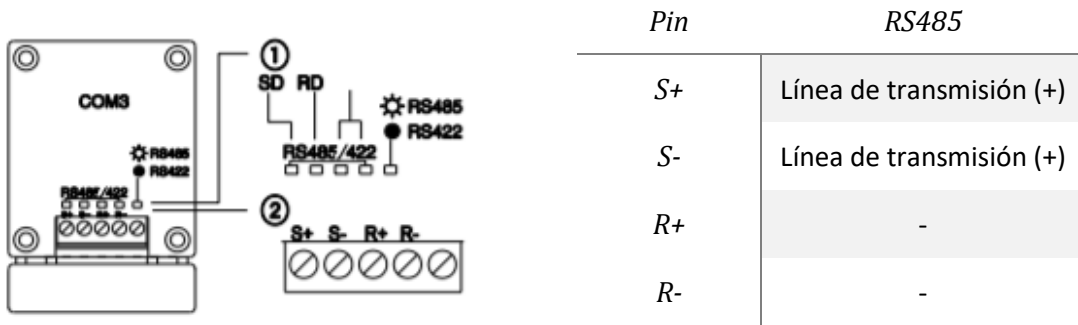


Ilustración 43. Esquema de bloque de terminales del casete [13]

Para configurar la función de comunicación RS485, se sitúan los switch del casete como se muestra en la Ilustración 44.



Ilustración 44. Interruptores casete COM3 [13]

SW	RS485	RS422
1	ON	OFF
2		
3		
4	Tienen que estar en ON en la primera y en la última estación de la línea de transmisión.	

Por último, en la pantalla (Ilustración 45), además de la alimentación (4), se dispone del puerto serie (1), puerto Ethernet (2) y puerto USB (3),

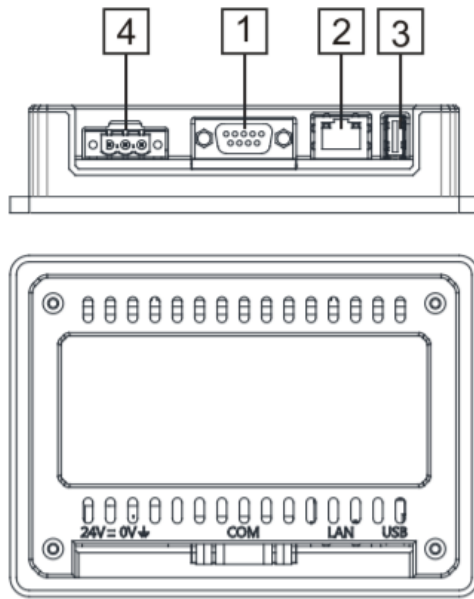


Ilustración 45. Conexiones pantalla [14]

5.2.3. COMUNICACIONES

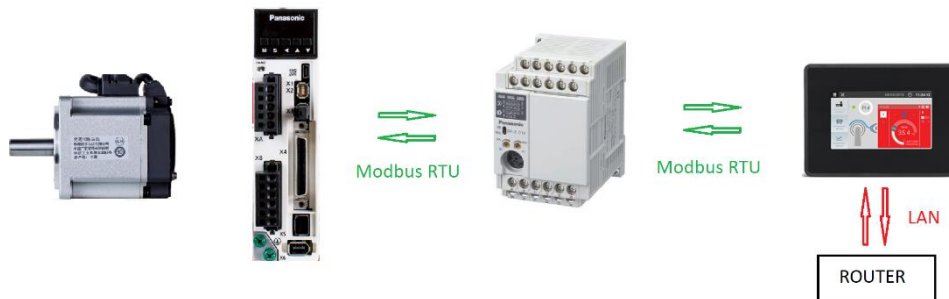


Ilustración 46. Esquema resumen de comunicaciones

En el sistema se emplea comunicación **Modbus RTU** (RS485), que permite crear una red básica con comunicación variador-autómata y pantalla-autómata. El servo envía información de alarmas y estado. La pantalla envía información de los parámetros introducidos por el operario, que son gestionados en el autómata. El autómata, por su parte, envía información relevante para el usuario a la pantalla para posibilitar el acceso remoto a dicha información.

La pantalla dispone de conexión **LAN** a internet, que permite acceder a la misma de forma remota.

En la Ilustración 46 se puede ver un resumen de las comunicaciones que se darán entre los diferentes equipos.

5.3. PARAMETRIZACIÓN DEL ACCIONAMIENTO

El software necesario para la configuración del servomotor es *Panaterm*. Se trata de un software propietario de *Panasonic Electric Works*.

La configuración del drive para el control del servomotor consiste en la configuración de los valores propios de la aplicación y el tipo de control a realizar:

- Se asigna una frecuencia nominal de 50 kHz.
- Se limita la velocidad a 90 kHz, ya que el máximo del servo es de 100 kHz. Con esto, dejamos un margen de 10% para asegurar el rendimiento del motor y su vida útil.
- Se ajusta el cero por par en el parámetro **00.013: % par máximo**, como se muestra en la Ilustración 47. Teniendo la precaución de no dañar las cuchillas del diafragma, pero para que la máquina sea capaz de cortar la carne, se establece un valor de 150%.
- Se selecciona el modo de control por posición en el apartado de *Pin Assignment*.

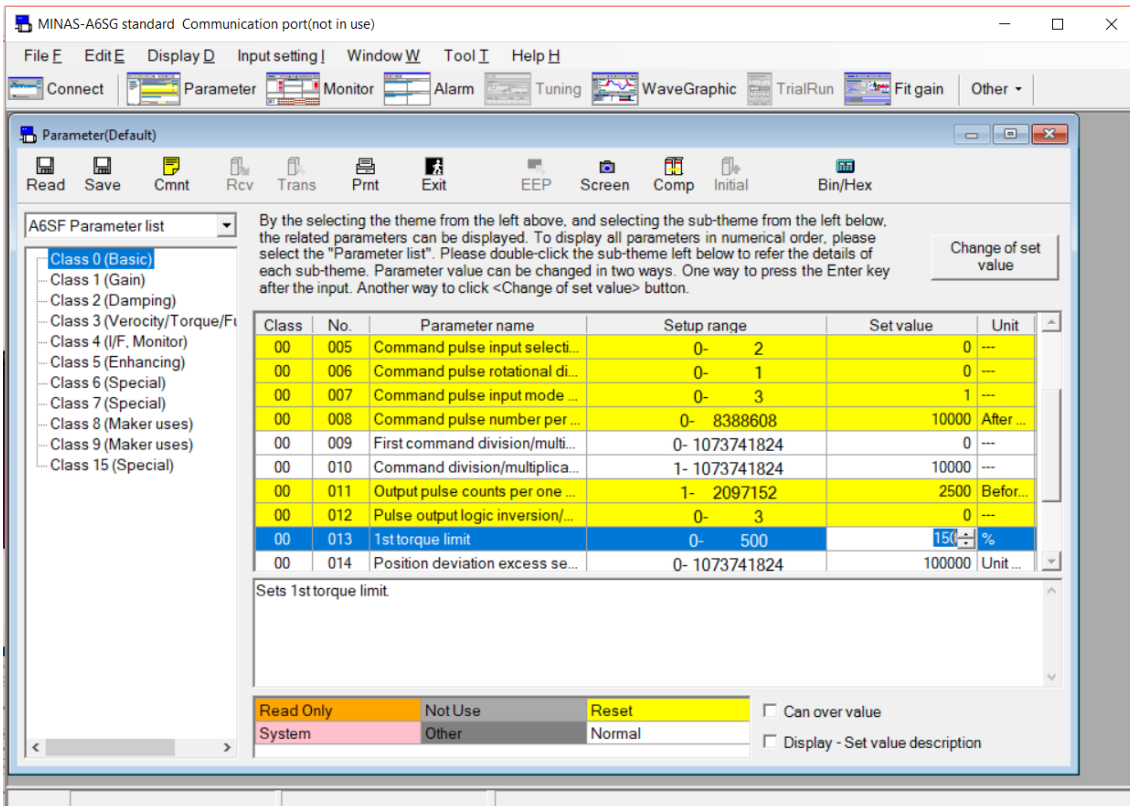


Ilustración 47. Ventana de Parámetros Básicos dentro de Panaterm

5.4. PROGRAMACIÓN DEL CONTROL

5.4.1. FINALIDAD DEL PROGRAMA Y CONSIDERACIONES

La programación del control se realiza mediante el software *FP Win Pro*, software abierto y gratuito de *Panasonic Electric Works*.

En este software se puede programar tanto con texto estructurado como con diagramas de contactos o bloques de funciones, así como combinar los diferentes lenguajes de programación.

Mediante el programa del autómatas se pretende capacitar al autómatas programable para recibir instrucciones de la pantalla en forma de variables, procesar estas variables y enviar información útil al controlador en forma de pulsos.

Para ello se programan cuatro modos de funcionamiento: uno para cada forma preconfigurada, es decir, albóndiga (esfera), croqueta o cilindro. Dentro de cada opción se puede personalizar la forma en mayor o menor medida.

Los valores de las variables configuradas en los parámetros de la pantalla son las entradas que utiliza el autómatas para calcular las variables de sistema que debe comunicar al controlador mediante de un control de posición por pulsos.

Además, se programa la posición de origen del servomotor y el arranque y paro de este. Para garantizar la seguridad se establecen límites en los parámetros del motor y se programan sus correspondientes alarmas.

5.4.2. VARIABLES

Las variables que se crean en el programa para realizar los cálculos y operaciones necesarios para la aplicación sirven también para recibir y enviar información. En la Tabla 10 se detallan las principales variables empleadas en la programación del autómatas.

<i>Identificador</i>	<i>Tipo de variable</i>	<i>Función</i>
<i>marchaMotor</i>	BOOL	Solicitud de arranque del motor
<i>paroMotor</i>	BOOL	Solicitud de parada del motor
<i>Speed_OK</i>	BOOL	La velocidad calculada no supera los máximos posibles para el motor
<i>seta</i>	BOOL	Elemento externo de parada de emergencia
<i>Pos_media</i>	INT	Posición de inicio de cierre del diafragma
<i>CPM</i>	INT	Ciclos por minuto. Un ciclo consiste en una apertura y cierre completo del diafragma.
<i>MotorON</i>	BOOL	Arranque del motor
<i>tramoApertura_percent</i>	INT	Porcentaje del tiempo de ciclo dedicado a la apertura del diafragma
<i>tramoCierre_percent</i>	INT	Porcentaje del tiempo de ciclo dedicado al cierre del diafragma
<i>aperturaMaxima_pulsos</i>	INT	Pulsos necesarios para abrir completamente el diafragma
<i>ciclos</i>	INT	Se considera un ciclo a una apertura y cierre total del diafragma

Análisis de mejoras operativas de la formadora cárnica de diafragma 1FCD3

<i>diametro</i>	INT	Apertura de diafragma en [mm]
<i>diametromin</i>	INT	Mínima apertura que evita dañar el diafragma por sobrepresión, en [mm] de diámetro de la pieza formada
<i>ResetContador</i>	BOOL	Resetea el conteo de tiempo para iniciar un nuevo ciclo
<i>contaje</i>	INT	Tiempo de ciclo transcurrido
<i>puntos</i>	INT	Pulsos del ciclo
<i>Modo1</i>	BOOL	Modo de funcionamiento para conformar albóndigas
<i>Modo2</i>	BOOL	Modo de funcionamiento para conformar croquetas
<i>Modo3</i>	BOOL	Modo de funcionamiento para conformar cilindros
<i>modo</i>	INT	Número del modo que está habilitado
<i>Apertura_percent</i>	INT	Porcentaje de apertura del diafragma con respecto a su máxima apertura
<i>tiempoCiclo_ms</i>	INT	Tiempo total transcurrido durante un ciclo
<i>tiempoApertura_ms</i>	INT	Tiempo del ciclo dedicado a la apertura del diafragma en [ms]
<i>tiempoCierre_ms</i>	INT	Tiempo del ciclo dedicado al cierre del diafragma en [ms]
<i>Apertura_pulsos</i>	INT	Número de pulsos dedicado a la apertura del diafragma
<i>velApertura_Hz</i>	INT	Velocidad de los pulsos durante el movimiento de apertura en [Hz]
<i>VelCierre_Hz</i>	INT	Velocidad de los pulsos durante el movimiento de cierre en [Hz]
<i>Apertura_pers</i>	INT	Porcentaje de apertura indicado por la pantalla para la forma personalizada
<i>Cierre_pers</i>	INT	Porcentaje de cierre indicado por la pantalla para la forma personalizada

Tabla 10. Variables propias del autómata

5.4.3. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

A continuación, se desarrolla el esquema que secuencia el programa del autómatas para la aplicación de la formadora de diafragma:

1. Marcha del motor
2. Valores iniciales de las variables
3. Límites máximos y mínimos de las variables
4. Generación de la base de tiempo de ciclo
5. Cálculo de puntos según los ciclos por minuto indicados
6. Reinicio del ciclo
7. Parámetros del modo 1
8. Parámetros del modo 2
9. Parámetros del modo 3
10. Tiempo de ciclo
11. Cálculo del tiempo de apertura
12. Cálculo del tiempo de cierre
13. Asignación de apertura y velocidades
14. Asignación posición y velocidad de apertura
15. Asignación de posición y velocidad de cierre
16. Señal de origen
17. Alarma de velocidad

5.4.4. PROGRAMACIÓN POR BLOQUES

Por último, se detalla y explica la programación por bloques para la secuencia expuesta anteriormente.

1. Marcha del motor (Ilustración 48)

Al activar la variable *marchaMotor* se activa la salida *MotorON* (Y4), que queda realimentada. Por ello se activa *marchaMotor* mediante un flanco (entrada tipo “momentary”) y con un contacto negado “momentary” también se para el motor con la variable *paroMotor*. Para que se active *MotorON*, la seta no tiene que estar pulsada y la velocidad debe ser adecuada, con la variable *Speed_OK* activa.

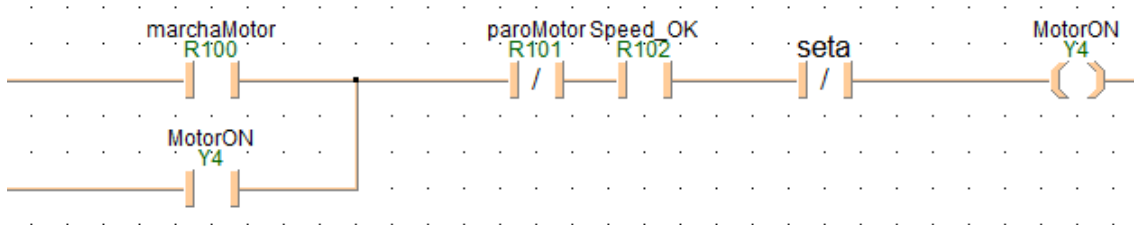


Ilustración 48. Marcha del motor

2. Valores iniciales de las variables (Ilustración 49)

Con el primer ciclo de scan del programa se inicializan las variables. Por un lado, las variables propias creadas para el programa, que son *pos_media*, *CPM*, *apertura_percent*, *tramoApertura_percent*, *tramoCierre_percent*, *aperturaMaxima_pulsos* y *ciclos*. Por otro lado,

las variables del sistema *dutPosicionado.dwControlCode*, *dutPosicionado.diInitialAndFinalSpeed* y *dutPosicionado.diAccelerationAndDecelerationTime*.

Para calcular la apertura máxima del diafragma en pulsos del servomotor, se han utilizado datos de los equipos y de la mecánica del mismo:

$$\begin{aligned}
 i_{reductor} &= 30 \\
 \text{apertura máxima} &= 64 \text{ grados} \\
 1 \text{ rev} &= 1000 \text{ pulsos} \\
 1 \text{ rev} &= 360 \text{ grados}
 \end{aligned}$$

Con estos datos se ha obtenido el valor en pulsos de la apertura máxima del diafragma, según la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 \text{aperturaMaxima_pulsos} &= \frac{i_{reductor} \cdot \text{apertura máxima [grados]} \cdot \frac{\text{pulsos}}{[\text{rev}]}}{[\frac{\text{grados}}{\text{rev}}]} \\
 &= \frac{30 \cdot 64 \cdot 1000}{360} = 5333 \text{ pulsos}
 \end{aligned}$$

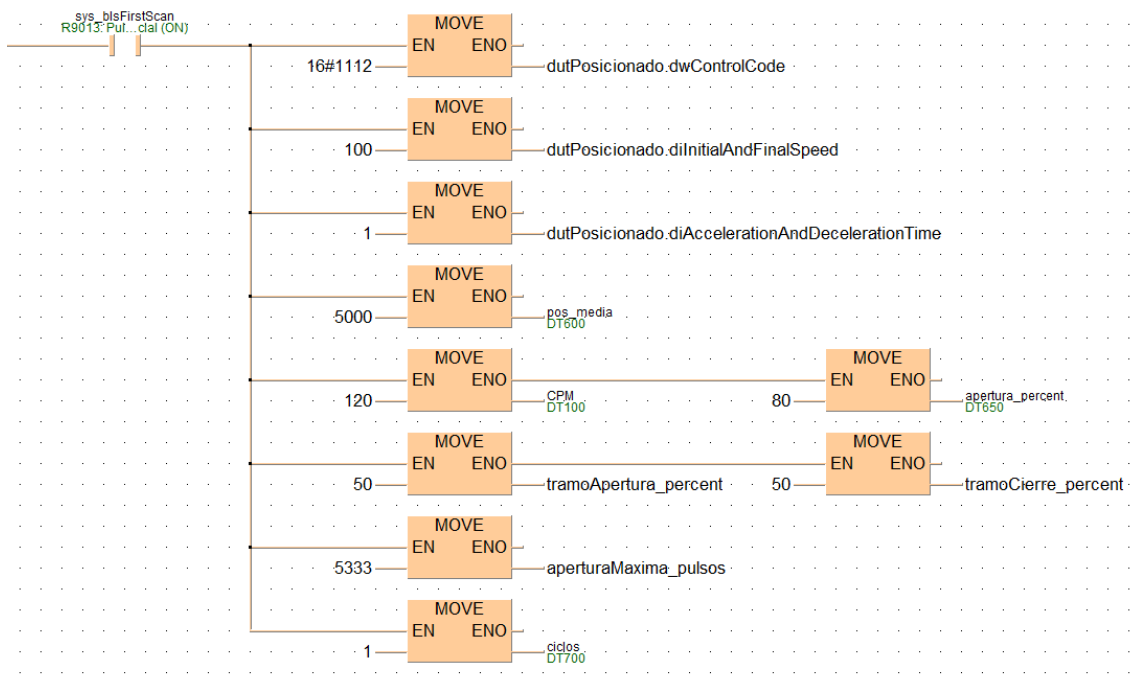


Ilustración 49. Valores iniciales de las variables

3. Límites máximos y mínimos de las variables (Ilustración 50)

A continuación, se limita el mínimo y máximo valor para las variables *CPM*, *tramoApertura_percent*, *tramoCierre_percent*, *apertura_percent*, *pos_media*, *diametromin*, *ciclos* y *diámetro*.

La máxima producción es de 150 productos por minuto. Es importante recordar que esta aplicación se ha simplificado para un solo diafragma y la máquina dispone de dos, por lo que la producción real será de el doble (300 productos por minuto).

La apertura del diafragma puede ser desde un 10% hasta un 100%. No obstante, el diámetro mínimo es de 10mm, por lo que, al ser esta variable limitante, nunca se abrirá un valor inferior.

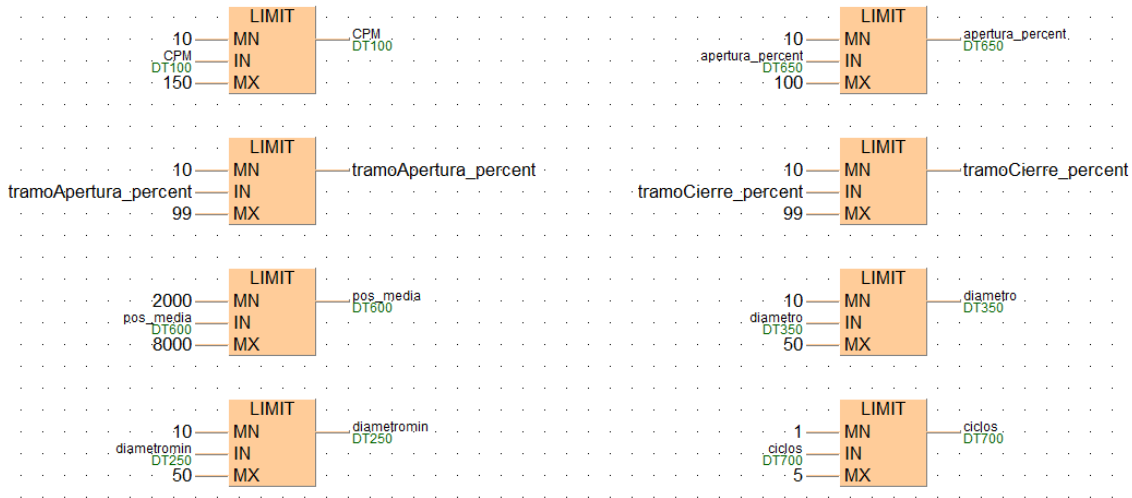


Ilustración 50. Límites máximos y mínimos de las variables

4. Generación de la base de tiempo de ciclo (Ilustración 51)

El autómata dispone de una variable contador de tramos de 10ms, mínima fracción de tiempo que es capaz de medir. Esta variable se emplea para manejar los tiempos y calcular así las esperas y velocidades.

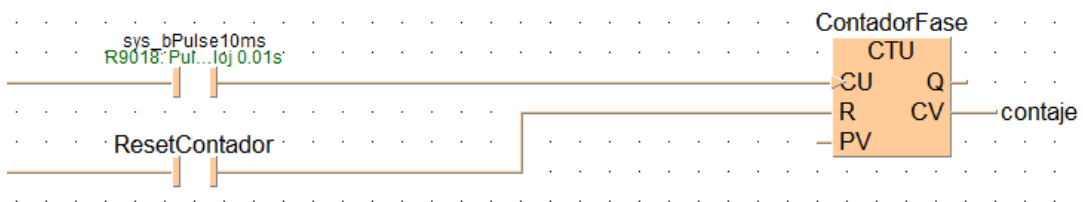


Ilustración 51. Generación de la base de tiempo de ciclo

5. Cálculo de puntos según los ciclos por minuto indicados (Ilustración 52)

Para el cálculo de los pulsos necesarios para abrir el diafragma hasta el valor deseado, se utiliza la variable *puntos*.

$$puntos = \frac{1}{10ms} \cdot CPM \cdot \frac{1000ms}{1s} \cdot \frac{1min}{60s}$$

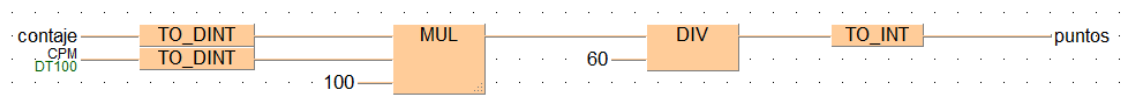


Ilustración 52. Cálculo de puntos según los ciclos por minuto indicados

6. Reinicio del ciclo (Ilustración 53)

Cada 10000 pulsos, se activa la variable *ResetContador*, que reinicia el ciclo.

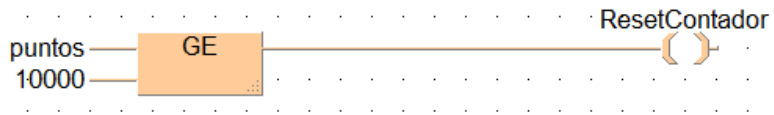


Ilustración 53. Reinicio del ciclo

7. Parámetros del modo 1 (Ilustración 54)

A continuación, se desarrollan los tres modos de programa disponibles. El modo 1 se emplea para la formación de albóndigas o productos esféricos. El modo 2, para croquetas o formas personalizadas. El modo 3 conforma cilindros, con apertura y cierre rápido que proporcionan bases prácticamente planas.

En primer lugar, se selecciona el modo de operación activando las variables *modo1*, *modo2* o *modo3*. Cualquiera de las variables resetea las otras dos al ser activada.

En el primer modo se puede ver que la variable *pos_media* adquiere un valor de 5000 pulsos. Teniendo en cuenta que el ciclo tiene un total de 10000 pulsos, esta posición se encuentra en el centro geométrico de la forma. Además, tanto la apertura como el cierre toman un valor del 80%. Esto es, durante un 80% del tiempo hasta llegar a la posición de la variable *pos_media*, el servomotor abrirá el diafragma. A continuación, cerrará durante otro 80% del tiempo disponible del ciclo y mantendrá cerrado el resto de tiempo de ciclo. Mientras un diafragma permanece cerrado, el otro permanecerá abierto, por lo que este tiempo de cierre no supone ningún problema de seguridad por sobrepresión.

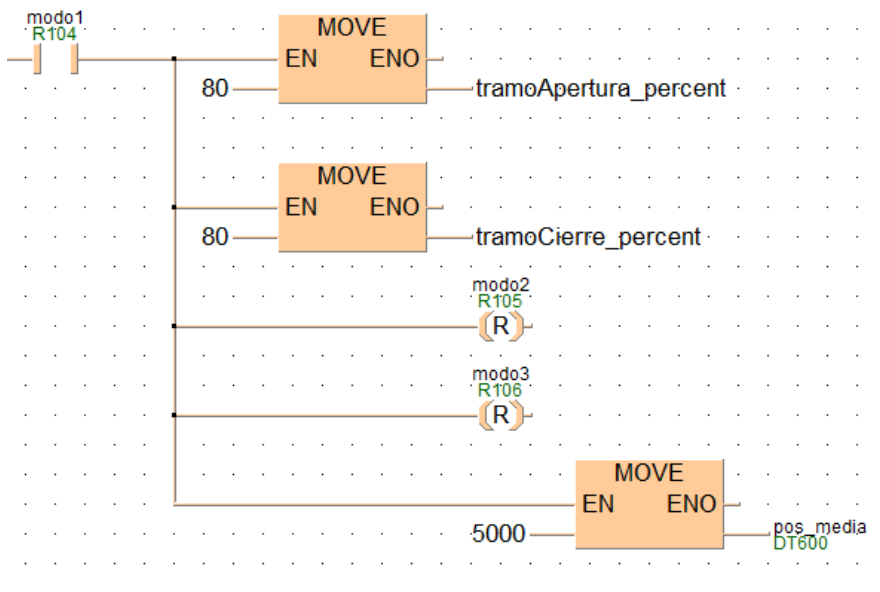


Ilustración 54. Parámetros del modo 1

8. Parámetros del modo 2 (Ilustración 55)

Para el segundo modo, los valores de *tramoApertura_percent* y *tramoCierre_percent* se pueden personalizar indicando su valor deseado en la pantalla. Las variables *apertura_pers* y *cierre_pers* transmiten respectivamente ese valor desde la pantalla.

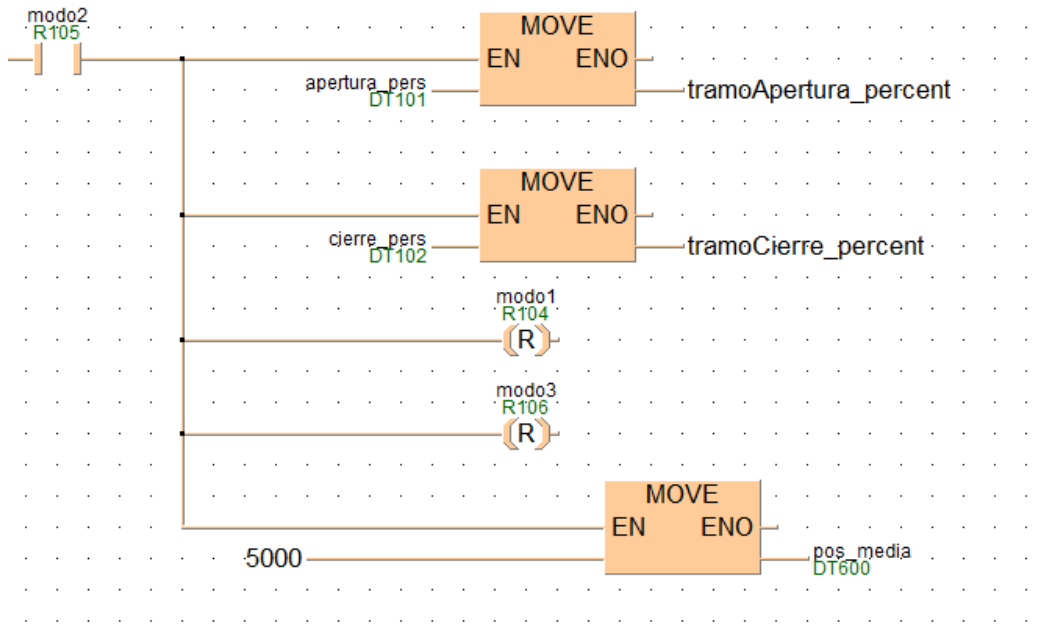


Ilustración 55. Parámetros del modo 2

9. Parámetros del modo 3

Para el último modo, que permite conformar cilindros con bases prácticamente planas, se sitúa el punto de inicio de cierre o *pos_media* a 4/5 del tiempo de ciclo.

$$pulsos_{apertura} = \frac{4}{5} \cdot 1000 \text{ pulsos} = 800 \text{ pulsos}$$

$$pulsos_{cierre} = \frac{1}{5} \cdot 1000 \text{ pulsos} = 200 \text{ pulsos}$$

Por tanto, para que ambas bases tengan la misma curvatura, y mantener los valores de porcentaje de apertura y cierre entre 20 y 80%, se establece un cierre al 80%.

$$pulsos_{cerrando} = 80\% \text{ de } 200 \text{ pulsos} = 160 \text{ pulsos}$$

$$\%abriendo = \frac{160}{800} \cdot 100 = 20\%$$

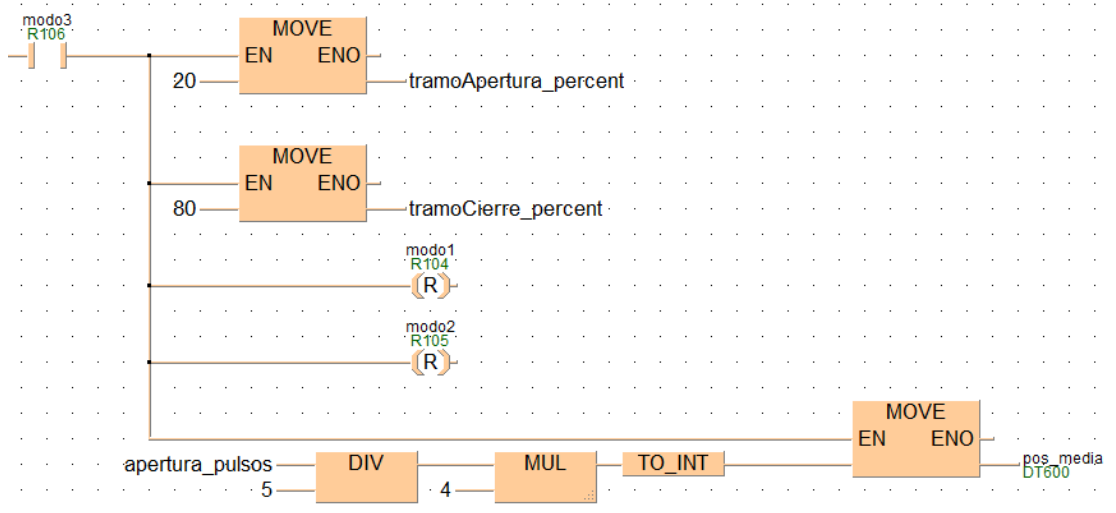


Ilustración 56. Parámetros del modo 3

10. Tiempo de ciclo (Ilustración 57)

A continuación, se calculan las variables para el movimiento. En primer lugar, la variable *tiempoCiclo_ms*, que obtiene el tiempo que tarda en abrir y cerrar el diafragma (un ciclo completo) a partir del valor de *CPM* indicado en la pantalla.

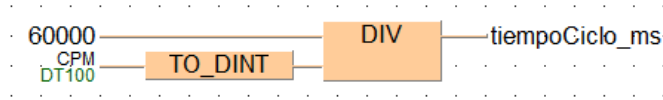


Ilustración 57. Tiempo de ciclo

11. Cálculo del tiempo de apertura (Ilustración 58)

Tanto en apertura como en cierre, para el cálculo del tiempo de apertura, se utiliza la fórmula:

$$tiempoApertura_{ms} = \frac{apertura \text{ (tanto por uno)}}{ciclo/min} \cdot \frac{10\,000 \text{ pulsos}}{ida} \cdot \frac{2 \text{ ida}}{ciclo} \cdot \frac{60 \text{ s}}{min}$$

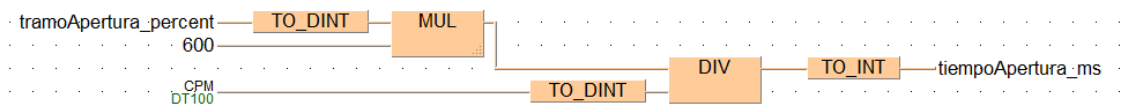


Ilustración 58. Cálculo del tiempo de apertura

12. Cálculo del tiempo de cierre (Ilustración 59)

Por tanto, la programación en ambos casos queda con la misma estructura.

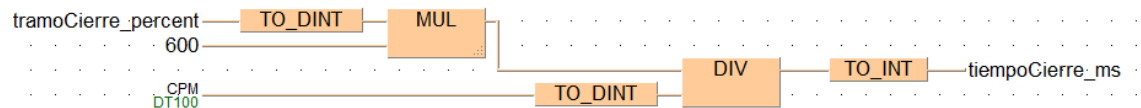


Ilustración 59. Cálculo del tiempo de cierre

13. Cálculo de apertura y velocidades (Ilustración 60)

Además, es necesario el cálculo de la velocidad de apertura y cierre, en Herzios.

$$pulsos \text{ apertura} = pulsos \text{ máx apertura} \cdot apertura \text{ (tanto por uno)}$$

$$velocidad \text{ apertura(Hz)} = \frac{pulsos \text{ apertura}}{tiempo \text{ apertura (s)}}$$

Se operará de la misma forma para cierre, teniendo en cuenta que para un ciclo la apertura y el cierre tendrán el mismo número de pulsos, pero pueden tener diferentes tiempos y por tanto velocidades.

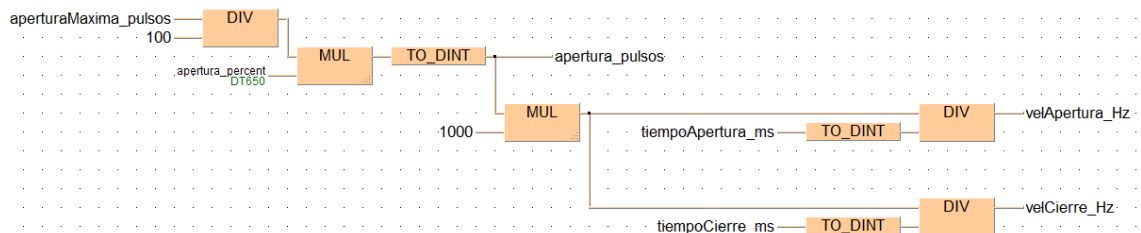


Ilustración 60. Cálculo de apertura y velocidades

14. Asignación de posición y velocidad de apertura (Ilustración 61)

El siguiente paso es asignar los valores calculados a variables del sistema que se trasladan al controlador. En primer lugar, se asignan los valores de *apertura_pulsos* [pulsos] y *velApertura_Hz* [Hz].

Con la función LT, si el valor del primero es menor estricto que el segundo, sirve como habilitador de la función posterior. Con esto, se van enviando pulsos hasta que se llega a la posición en que se inicia el cierre del diafragma.

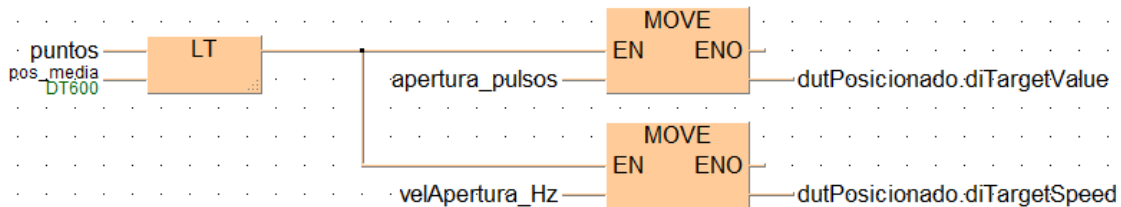


Ilustración 61. Asignación de posición y velocidad de apertura

15. Asignación de posición y velocidad de cierre (Ilustración 62)

Para el cierre se opera de forma similar. La posición final del cierre no es 0, ya que en ese caso se ejercería par innecesario en el cierre del diafragma en cada ciclo, por lo que se busca la posición 200, que ya mantiene cerrado el diafragma. Si no se consiguiese desprender la pieza formada por este pequeño margen en el cierre, con la pasada de la cuchilla sería suficiente para garantizar el desprendimiento.

Con la función GT, si el valor del primero es mayor estricto que el segundo, el valor resultante es verdadero. En este caso, inverso al anterior, se utiliza para asignar valores en el cierre, para posiciones mayores a la variable *pos_media*.

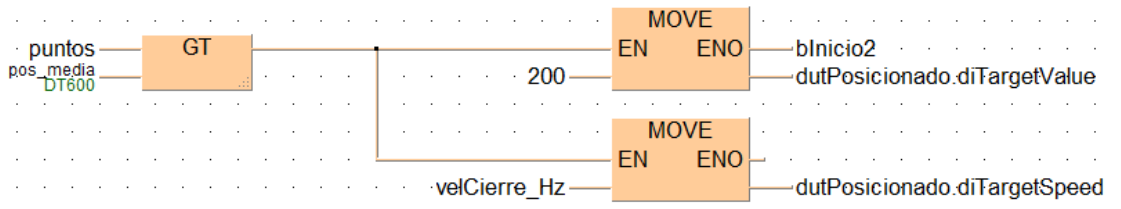


Ilustración 62. Asignación de posición y velocidad de cierre

16. Señal de origen (Ilustración 63)

Por medio de la variable *bHomeOK*, el motor busca su origen.

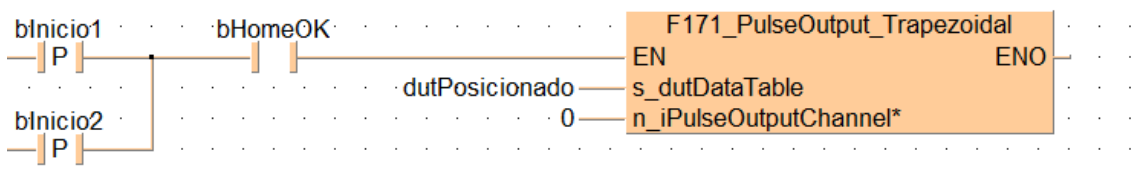


Ilustración 63. Señal de origen

17. Alarma de velocidad (Ilustración 64)

El motor no puede superar una velocidad equivalente a 90 000 Hz [11]. Por tanto, se emplea la variable *Speed_OK* para verificar que los valores calculados según los parámetros indicados no superen los límites del motor. Como se ha visto al inicio del programa, no se puede arrancar el motor sin la variable *Speed_OK* activa.

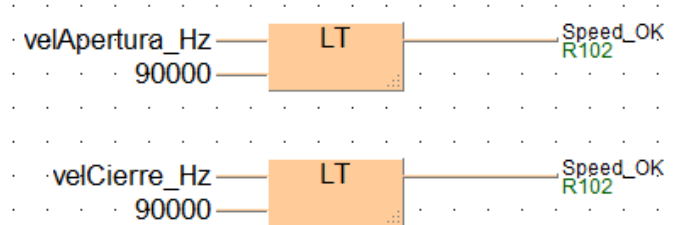


Ilustración 64. Alarma de velocidad

5.5. PROGRAMACIÓN DE PANTALLA

5.5.1. MODOS DE FUNCIONAMIENTO

La máquina tiene dos tipos de funcionamiento posibles:

- Modo manual

El usuario define la forma y los parámetros del producto que se desea obtener, según el proceso de la Ilustración 65. En primer lugar, selecciona la forma, que puede ser esférica, cilíndrica o personalizada (por defecto de croqueta). A continuación, define los parámetros requeridos, dependiendo del tipo de forma que haya seleccionado previamente. Por último, guarda estos parámetros como receta o bien pone en funcionamiento la formadora.

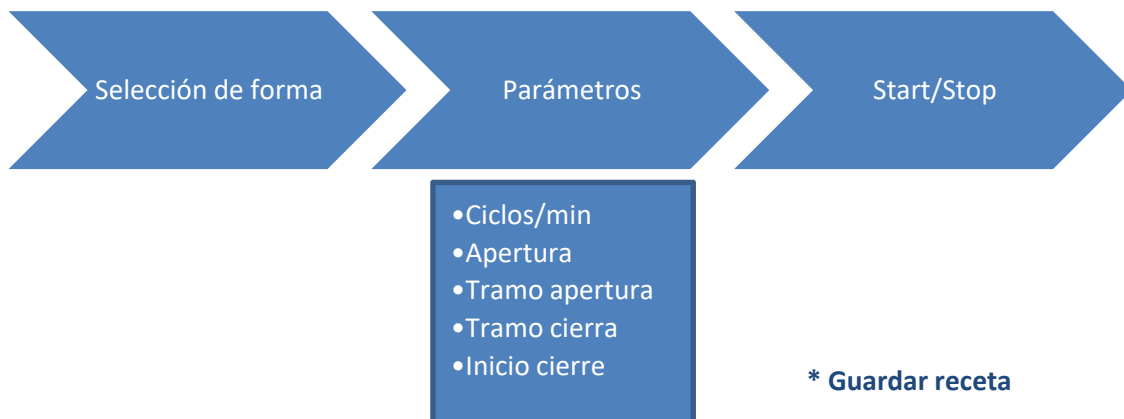


Ilustración 65. Esquema pantalla modo manual

- Modo automático

El usuario selecciona una receta configurada previamente en el modo manual. Puede indicar que se trata de un lote y programar las unidades de producto que desea. Esto es una funcionalidad exclusiva del modo automático.

5.5.2. SOFTWARE JMOBILE

La programación de la pantalla se realiza mediante el software JMobile, un programa sencillo y amigable con multitud de funcionalidades. En la Ilustración 66 se muestra la pantalla de trabajo del software con la página de inicio de la aplicación.

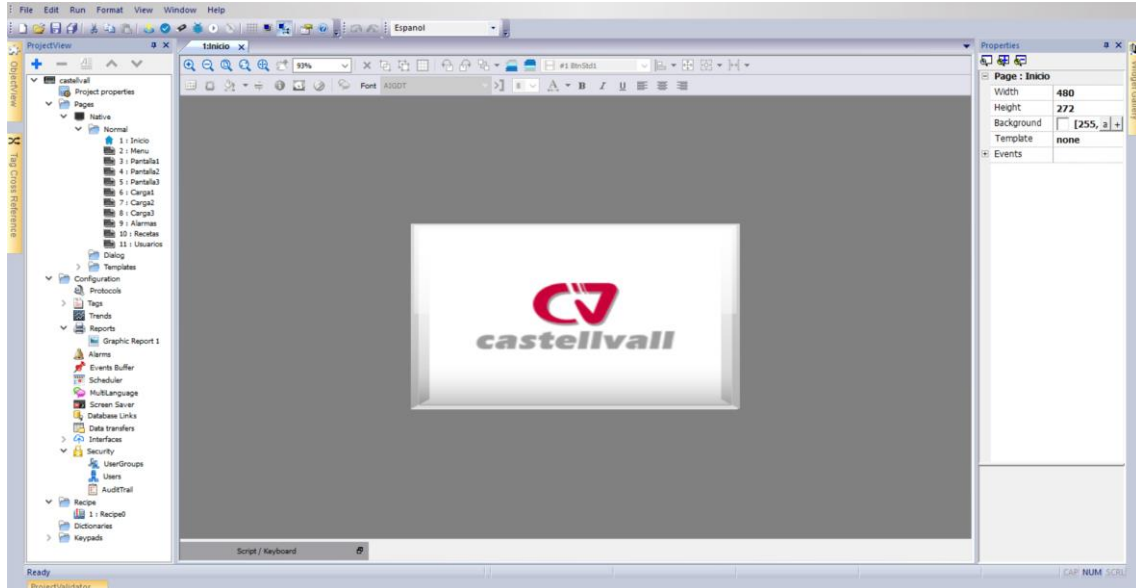


Ilustración 66. Pantalla inicio JMobile

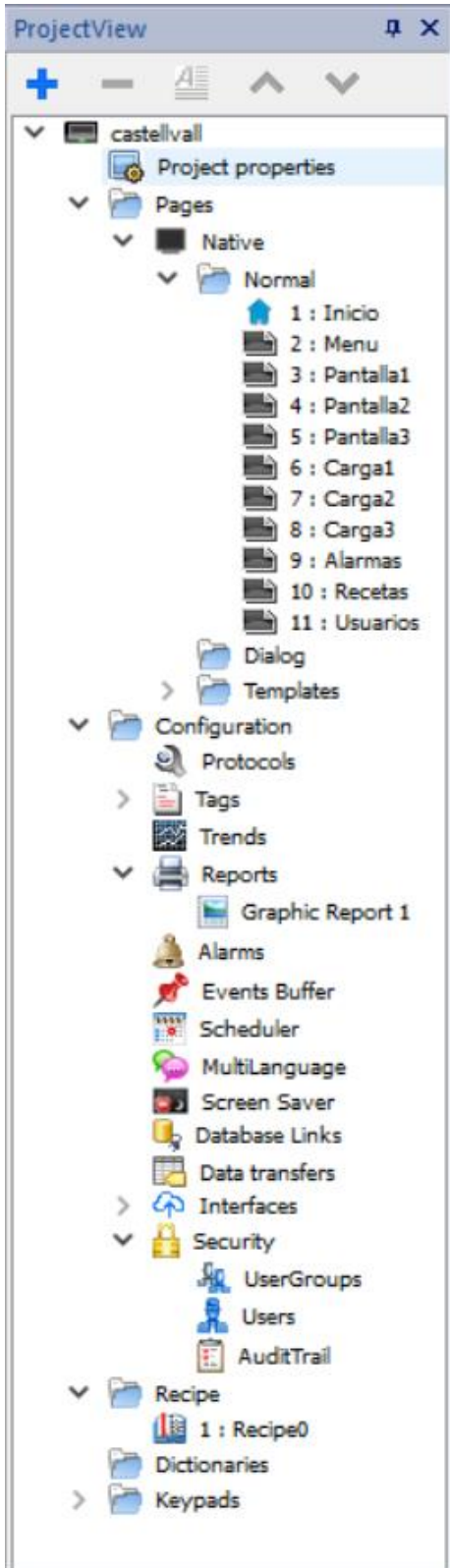


Ilustración 67. Detalle árbol JMobile

- Páginas

Se programan todas las pantallas gráficas de la pantalla de operador, dando a una de ellas la propiedad de pantalla de inicio. Además, se pueden programar diálogos salientes y modelos. En este caso, se han desarrollado 11 páginas para la aplicación.

- Configuración

Hay diversas propiedades configurables en el software.

En el apartado de protocolos se programa la configuración de comunicaciones de la pantalla. En tags, se definen las etiquetas para cada uno de los protocolos de comunicación.

Con la opción de tendencias es posible generar gráficas para visualizar la evolución de variables. Estas gráficas se pueden mostrar en la pantalla o desde reportes.

En el apartado de reportes se diseñan los partes de producción con envío del reporte por correo electrónico siempre que se disponga de conexión a internet.

El gestor de alarmas permite gestionar las acciones a realizar según se dé una alarma. Tanto las alarmas como los eventos se generan en el búfer de eventos.

El software y la propia pantalla disponen de un calendario para programar acciones.

Se pueden definir los textos en múltiples lenguajes desde la configuración multilinguaje.

Por último, en el apartado de seguridad se gestionan los tipos de usuarios, usuarios y permisos. Cada tipo de usuario o incluso cada usuario puede tener unos accesos o permisos personalizados.

- Recetas

Se definen recetas en la pantalla, que se gestionan en este menú.

5.5.3. PANTALLAS DE OPERACIÓN

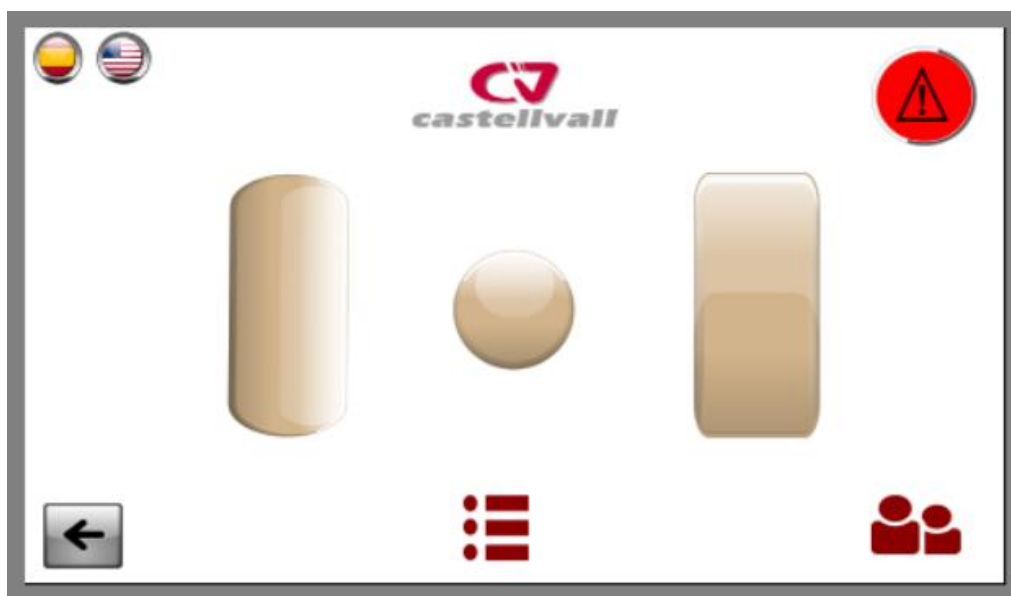


Ilustración 68. Pantalla del menú

La pantalla se ha programado de tal modo que, cuando el usuario pulsa en la pantalla inicial, aparece la pantalla de menú visible en la Ilustración 68. En esta, se encuentran tres formas preconfiguradas. Si se pulsa en la forma esférica y la cilíndrica (segunda y tercera), se viaja a sendas pantallas en las cuales el usuario introduce los parámetros a definir, que son únicamente producción (en unidades por minuto), y diámetro (en milímetros), como se ve en la Ilustración 69. Para la forma de croqueta, se dispone de una personalización mayor con dos parámetros adicionales, según la Ilustración 70: porcentaje de apertura y porcentaje de cierre. Esto es, la proporción de tiempo de un ciclo que se dedica a la apertura o cierre del diafragma. Con un porcentaje alto, la forma quedará alargada, mientras que con uno pequeño quedará plana. Por ejemplo, para hacer una forma de lágrima, lo ideal es hacer una apertura media-rápida y cerrar lentamente con un porcentaje de cierre alto. Para hacer una croqueta simétrica, ambos porcentajes tendrán el mismo valor.

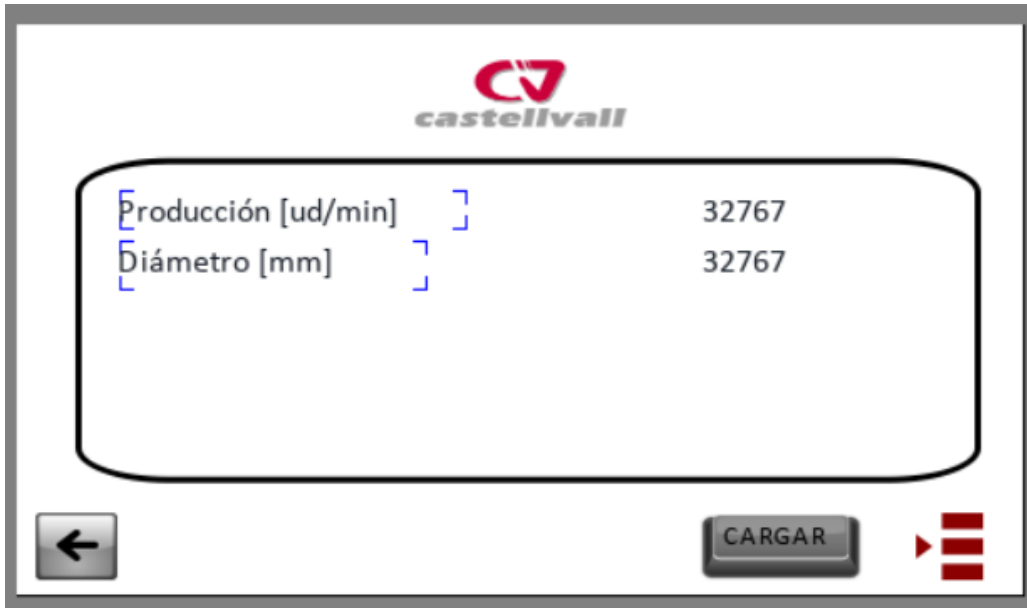


Ilustración 69. Pantalla de esfera y cilindro

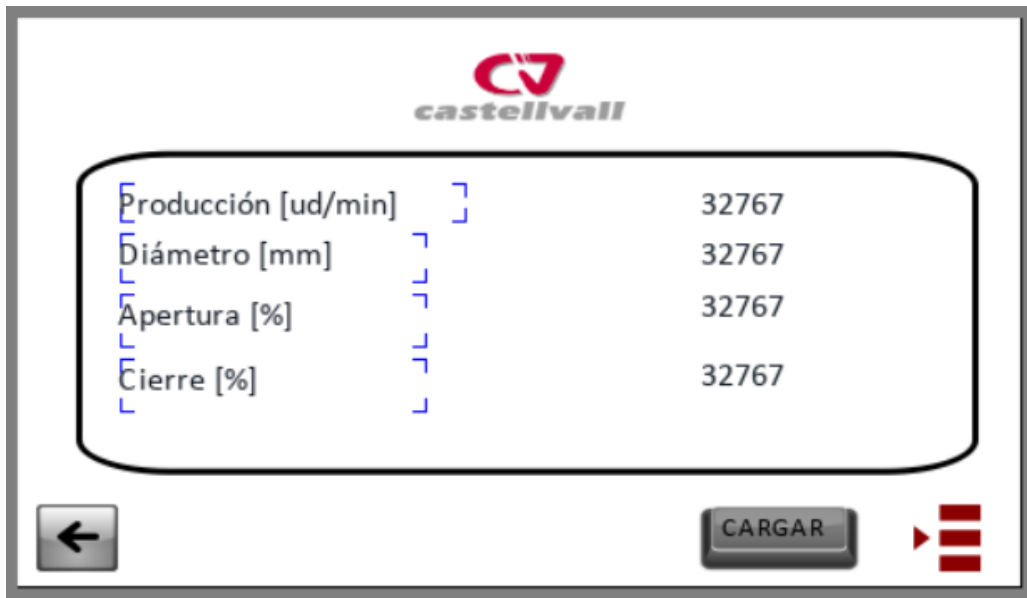


Ilustración 70. Pantalla de forma configurable

En las pantallas de parámetros (Ilustración 69 o Ilustración 70), el botón de cargar permite transmitir los datos al autómatas, que calculará los pulsos necesarios para el movimiento. Una vez se hayan transmitido estos datos, la apariencia de la pantalla cambiará a la Ilustración 71, con el marco verde. Los parámetros dejan de ser editables y se puede comenzar la producción con el botón ON. Con la flecha que aparece bajo el botón ON/OFF volvemos a la configuración de parámetros.

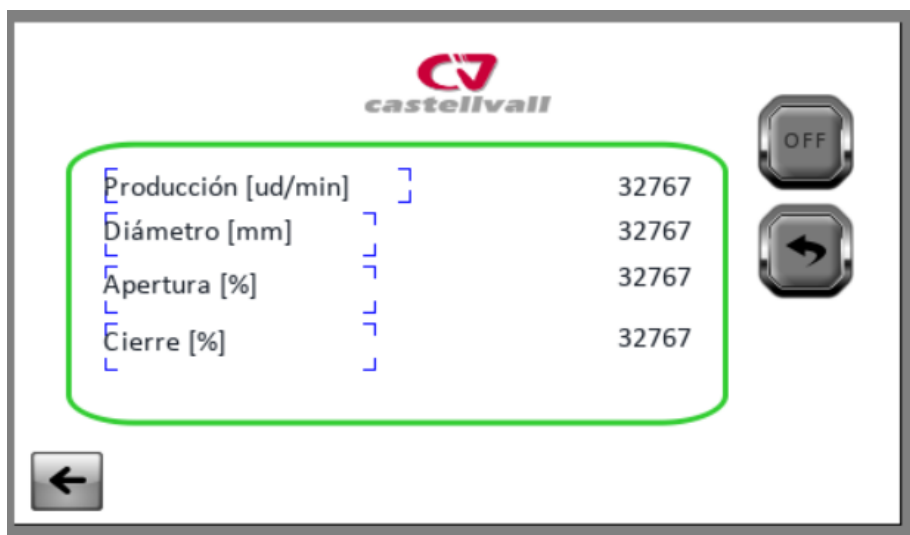









Ilustración 71. Pantalla de forma configurable con variables cargadas

5.5.4. PANTALLAS COMPLEMENTARIAS

Para clarificar la función de los iconos que aparecen en la Ilustración 68 (menú principal) y algunos más de otras pantallas, en la Tabla 11 se detalla una leyenda de iconos.

<i>Icono</i>	<i>Función</i>	<i>Descripción</i>
	Idioma	Se seleccionará el idioma de la pantalla, o bien español o bien inglés
	Alarma	Hay una o más alarmas activas
	Atrás	Acceso a la pantalla anterior
	Recetas	Acceso al menú de recetas
	Usuarios	Acceso al menú de usuarios
	Cargar	Envía los parámetros definidos por el usuario en la pantalla al autómeta
	Nueva receta	Envía los parámetros definidos como nueva receta




	Volver a edición	Volver a edición de los parámetros
 	ON/OFF	Activa o desactiva el motor

Tabla 11. Leyenda de iconos de la pantalla

La señal de alarma roja se iluminará solo cuando haya alguna alarma activa. Pulsando el icono, se accede directamente a la tabla de alarmas (Ilustración 72).



Ilustración 72. Pantalla de alarmas

Con el botón con flecha de la esquina inferior izquierda, se accede a la pantalla anterior. En el caso de estar en la pantalla del menú, se accede a la pantalla de inicio, y en caso de estar en la pantalla de parámetros, al menú.

En la opción automática, el apartado de recetas permite cargar y descargar rectas ya creadas. Se introduce si se desea fabricar un lote y en caso afirmativo, su tamaño en unidades. A continuación, los datos de la forma personalizada: producción, diámetro, apertura y cierre del diafragma. La pantalla de recetas está representada en la Ilustración 73.



Ilustración 73. Pantalla de recetas

Por otra parte, en la pantalla de gestión de usuarios (Ilustración 74) se puede tanto acceder o salir de un usuario como modificar la contraseña o crear nuevos usuarios y editar o eliminar usuarios ya existentes. Al crear un usuario, se establecen tres niveles de privilegios: administrador, con acceso a todos los menús, invitado, con acceso exclusivo a funcionamiento manual, automático y alarmas, pero no a gestión de usuarios, y no autorizado, que puede trabajar únicamente en manual, sin acceso a recetas ni alarmas.



Ilustración 74. Pantalla de gestión de usuarios

5.6. ACCESO REMOTO

5.6.1. CARACTERÍSTICAS

Para el acceso a la pantalla desde un dispositivo, ya sea ordenador, móvil o tablet, existen diferentes alternativas según si la conexión es local u online.

Para conexiones locales, es decir, en que el dispositivo con el que se accede a la pantalla está en la misma red que la máquina, se puede acceder directamente desde la aplicación *HMIClient* de *JMobile* mostrada en la Ilustración 75, simplemente indicando la dirección IP de la pantalla.

Para conexiones vía servidor web, se habilita la opción de acceso remoto disponible de Exor, *Corvina Cloud*.

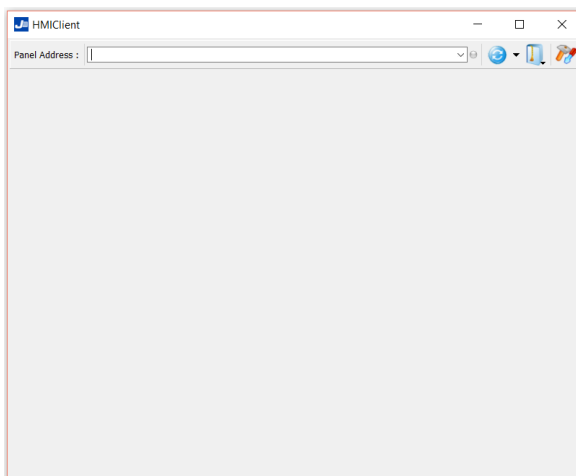


Ilustración 75. HMIClient

Componentes de Corvina Cloud [16]:

- Nodo: objeto genérico gestionado por Corvina Cloud.
- Dispositivo: equipo gestionado por Corvina Cloud.
- Pasarela: puerta a través de la cual Corvina Cloud puede acceder a los terminales. A cada terminal se le asigna una dirección IP.
- Terminal: cualquier equipo que pueda conectarse a una red.
- Usuario: cualquier persona que pueda acceder a interactuar con Corvina Cloud.
- Aplicación: medio para conectarse a un terminal.
- Políticas de acceso: restricciones en el acceso a pasarelas o terminales. Acceso exclusivo para usuarios autorizados.
- Dominio: colección de usuarios y dispositivos.

5.6.2. INFORME DE PRODUCCIÓN

Mediante la conexión remota se envía el informe de producción, configurado en la Ilustración 76, y se puede realizar un mantenimiento adecuado a los tiempos de funcionamiento de la máquina.

En este informe se indica hora a la que ha sido lanzado un lote de producción, el nombre de la receta y número de lote, así como su tamaño. También indica el operario o nombre de usuario que lo ha lanzado y registra si durante su producción se ha dado alguna alarma. Se enviará todos los días a un correo electrónico definido por el Castellvall al acabar la jornada laboral.

Informe de producción 09/03/20 - 12:15:17

Hora	Receta	Lote	Tamaño	Operario	Incidencias
09/03/20 - 12:20:50	7FFF	7FFF	99999	32767	Message

Ilustración 76. Programación informe de producción

CAPÍTULO 6. VIABILIDAD ECONÓMICA

6.1. MATERIAL Y PRESTACIONES

En el presente capítulo se justifica la inversión económica en la mejora propuesta tanto desde el punto de vista del fabricante de maquinaria como desde el punto de vista del usuario final.

Un requisito principal del proyecto era dotar a la formadora de la capacidad de conformar nuevas formas de producto final además de las albóndigas esféricas originales. Para cumplir con dicho requisito, es necesario hacer uso de una servoaccionamiento.

No obstante, es interesante comparar la solución original con la modificación propuesta, entendiendo siempre que la inversión en la mejora es necesaria para cumplir los requisitos establecidos.

La solución original dispone de un motor de inducción trifásico de baja potencia (0.75kW). Este tipo de motores suele ser ligeramente más económico con alimentación trifásica, como es el caso. Su precio de mercado ronda los 80€ según <https://adajusa.es>.

Por otro lado, la solución propuesta supone una inversión de 1 491.17 € según se calcula en 2.2. Recursos Materiales del Presupeusto.

El precio global de la máquina 1FCD3 original, con la tecnología de la que dispone actualmente (accionamiento manual, con motor de inducción y tres diafragmas), es de **8 500 €**. Por tanto, la mejora a implementar supone un incremento de su coste de la máquina de un 14.2%

$$\Delta\text{coste} [\%] = \frac{\Delta\text{coste}}{\text{coste}_{\text{actual}} + \Delta\text{coste}} = \frac{1\,491.17 - 80}{8500 + 1\,491.17 - 80} = 14.2\%$$

Es por ello que, en el presente trabajo, además de realizar las modificaciones mínimas para cumplir con las especificaciones propuestas, se aprovechan las prestaciones que ofrecen los nuevos equipos para dotar a la máquina de funcionalidades adicionales que la convierten en una solución más competitiva en el mercado. Es decir, se convierte la formadora básica y manual 1FCD3 en una máquina automática y conectada, con un interfaz de comunicación con el operario amigable e intuitivo.

No obstante, cabe incidir que este incremento de precio repercute únicamente al coste de cada máquina. Además, se tiene un coste del actual proyecto, el cual el cliente debe decidir cómo gestionar dentro de su propia estrategia empresarial.

6.2. PROGRAMACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

La máquina original no requiere de ninguna programación. Sin embargo, las programaciones desarrolladas en este proyecto requieren de horas de trabajo de personal cualificado. Esta programación se realiza únicamente una vez, pudiendo emplearse en cada unidad fabricada.

Por tanto, se ofrece una máquina con una programación única, idéntica en cada unidad de producto, que se puede fabricar en serie y personalizando únicamente el logo corporativo de la empresa compradora en la visualización de la pantalla.

En cambio, si se desea personalizar la programación según el cliente, es necesario añadir los costes de modificación del programa al coste de la máquina personalizada. En ese caso se realizaría un estudio concreto según los requerimientos del cliente.

Con la automatización de la máquina, también se busca la sencillez en la relación del operario con la máquina. Esto implica una menor atención y tiempo dedicado al control de operación por parte de los encargados de su funcionamiento. Esta característica se potencia si la embudidora que alimenta a la formadora es también automática.

La puesta en marcha de la solución propuesta resulta más compleja que la de la máquina original. Es necesario comprobar el funcionamiento en diferentes condiciones y para diferentes funciones que ofrece la pantalla. No obstante, las consecuencias prácticas de este cambio resultan casi despreciables.

6.3. MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD

La solución propuesta en este trabajo ofrece la posibilidad de llevar un control de producción por medio de informes. Con estos informes, se gestiona la información de tiempo de funcionamiento de las piezas. Sabiendo el tiempo de vida de cada pieza según indique el fabricante, se puede programar un mantenimiento preventivo predictivo.

En el caso original, la máquina no está preparada para proporcionar esta información. A no ser que se lleve un control y registro manual de tiempo de operación, o bien una estimación (solución mucho menos precisa), el mantenimiento que se hace es correctivo, es decir, se cambian las piezas según se estropean.

La principal ventaja de gestionar el mantenimiento es que se evita en gran medida parones de producción descontrolados que conllevan costes directos de mantenimiento (los de las tareas, que pueden darse con mayor frecuencia que si se realiza mantenimiento preventivo predictivo) e indirectos (los asociados a la pérdida de producción o costes de oportunidad). Las paradas de mantenimiento se pueden programar para que no afecten a la producción.

Los tipos de fallos de la formadora original y la propuesta serán similares, ya que en ambos casos hay una parte mecánica (transmisión de movimiento) y una parte eléctrica (accionamiento eléctrico). Si bien es cierto que en la solución propuesta hay más equipos eléctricos implicados y el coste de sus averías es mayor, los elementos eléctricos que tienen una tasa de fallo un orden de magnitud superior a los mecánicos [7]. Además, los equipos eléctricos incorporados en el diseño tienen una esperanza de vida larga, de más de 10 años. Por tanto, los mantenimientos a realizar serán normalmente de componentes mecánicos, idénticos en ambos casos y con un diafragma menos en la máquina modificada.

La facilidad que aporta realizar un mantenimiento predictivo de la máquina se considera una garantía de funcionamiento de la misma.

6.4. VERSATILIDAD

La inversión en cada máquina, así como la inversión en la programación y proyecto inicial son justificables y de hecho rentables debido al punto clave de esta mejora: la versatilidad que se aporta a la formadora cárnica 1FCD3.

Se parte de una máquina manual que produce únicamente albóndigas a una máquina automática, sencilla de manejar para el cliente final y que es capaz de producir formas completamente personalizadas. Además, se incorpora un control de producción.

Con todo esto, el cliente objetivo de esta máquina se amplía. El cliente que adquiera la máquina original porque únicamente desea formar croquetas, tiene la ventaja del acceso remoto y el control de producción. Además, se abre horizontes a clientes que requieran menor producción, pero variada o a aquellos que necesitan formar diferentes productos y no quieran adquirir multitud de máquinas específicas.

Otro punto importante a destacar es la posibilidad que ofrece la formadora mejorada de recibir soporte técnico no presencial por medio del acceso remoto. Este es un punto relevante tanto para el fabricante como para el cliente final: el personal técnico del fabricante puede asistir desde su oficina, reduciendo costes y maximizando el tiempo en oficina de sus trabajadores. Además, puede ofrecer incluso servicio de telemantenimiento o teleasistencia según considere. Por otra parte, el cliente puede tener servicio de asistencia de forma mucho más inmediata que tradicionalmente, sin necesidad de concertar una cita presencial.

6.5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

La configuración propuesta para añadir mejoras operativas a la formadora de diafragma 1FCD3 de la empresa Castellvall incrementa el precio de la máquina y requiere de una programación técnica de los equipos. No obstante, dota a la máquina de una versatilidad que se ve reflejada en rentabilidad y ventajas tanto para el fabricante como para el cliente final.

La comparativa entre la máquina original y la mejora queda resumida en la Tabla 12.

	<i>1FCD3 original</i>	<i>Propuesta de mejora</i>
<i>Material y prestaciones</i>	Solución económica	Incremento de un 14.2% el precio de la máquina en equipos
<i>Programación y puesta en marcha</i>	Sin programación y puesta en marcha muy sencilla	Programación única y puesta en marcha sencilla. Posibilidad de personalización con coste
<i>Mantenimiento y fiabilidad</i>	Mantenimiento correctivo, limita la mecánica	Mantenimiento preventivo predictivo, limita la mecánica
<i>Versatilidad</i>	Prácticamente nula	Muy versátil

Tabla 12. Resumen de la comparativa económica entre la formadora 1FCD3 original y las mejoras propuestas

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS

FUTUROS

7.1. CONCLUSIONES

Se ha realizado un trabajo consistente en el estudio de la mejora del diafragma 1FCD3 de la marca Castellvall, añadiéndole funcionalidades y programando su automatización. Con ello, se establecen conclusiones que sirven como base para desarrollos futuros:

- Tras el estudio de diferentes tecnologías y opciones de mercado, se concluye que la mejor opción actualmente para elaborar diferentes formas en una formadora cárnica es la de emplear un servomotor con control de posición. A pesar del incremento de precio frente a otras opciones, esta solución da una versatilidad única a la formadora, ampliando así el abanico de clientes potenciales.
- Al automatizar maquinaria de funcionamiento manual, se reduce tanto el personal encargado de la misma como la formación necesaria para este personal, pudiendo llegar a crear menús de ayuda que sirvan al operario a aprender sobre su propio funcionamiento.
- El control de producción de una máquina ayuda a la empresa a tener conocimiento sobre su rendimiento, gestionar los lotes y detectar los parones, así optimizando el funcionamiento de la planta en conjunto.
- El telemantenimiento permite hacer una gestión de la máquina óptima, aplicando mantenimiento preventivo predictivo y teniendo preparadas las piezas de recambio antes de que la máquina tenga algún fallo. Con esto, se evitan paradas por avería, averías que puedan causar daños mayores y retrasos de producción y servicio. Gestionando y programando el mantenimiento, el cliente tiene el poder sobre la máquina y es mucho más improbable que surjan imprevistos.
- El acceso remoto a la máquina permite asistencia técnica por parte del fabricante sin coste y disponibilidad de desplazamiento y sin necesidad de recurrir a asistencia telefónica con un técnico por parte del cliente. Además, es un servicio por el cuál el fabricante puede obtener rentabilidad ofreciéndolo como servicio (como alternativa a la asistencia técnica presencial) si así lo desea.

En definitiva, se ha desarrollado una mejora que permite productos terminados con variedad de formas, totalmente personalizable, mediante una máquina con funcionamiento automático. Su mantenimiento y producción están programados y dispone de la posibilidad de acceder de forma remota.

7.2. DESARROLLOS FUTUROS

Debido a la obtención de resultados satisfactorios, se considera viable explorar en un futuro otras funciones y aplicaciones que pueden derivar de la instalación de acceso remoto en la máquina.

Por ejemplo, se podría ampliar la funcionalidad del mantenimiento. Incorporando una pantalla de mantenimiento, el usuario responsable del mantenimiento puede indicar las piezas y horas de uso de cada una. En este caso no se limita la pantalla a enviar un informe de producción, sino que también facilita la programación del mantenimiento en planta. Así la propia pantalla puede generar periódicamente un informe con estimación de fallo de las piezas y mantener una organización de stock de recambios. Actualmente, esta gestión de stock se hace de forma manual en la fábrica. Básicamente se trataría de una informatización total del mantenimiento de la máquina.

Además, la pantalla dispone de funcionalidades de auditoría, por lo que si se desea se podría con un nivel de seguridad equivalente a la certificación (incluso es posible adquirir esta certificación) CFR21. Esto es una garantía y un potente argumento de venta, sobre todo tratándose de una industria tan sensible como la alimentaria.

Las mejoras integradas en esta máquina se pueden aplicar también a otras máquinas similares. Dotando a las formadoras de control de posición, adquiere una versatilidad única, que con cualquier otro accionamiento no se puede dar.

Teniendo en cuenta que las alternativas comunes para este tipo de máquinas son, o bien un accionamiento mediante un motor de inducción (como es el caso de la 1FCD3 original), o bien un accionamiento neumático con leva, la solución se ha convertido en alternativa real debido a sus enormes ventajas y precio actualmente competitivo y con tendencia descendente por un aumento de su demanda y mercado de estos equipos.

Por otra parte, dotar otras máquinas, bien de este sector o bien de otros, de un sistema de acceso remoto ofrece ventajas innegociables en el futuro de la industria. Añadir todas las máquinas de la industria a la red implica unirse a la Industria 4.0, pasando a formar parte del futuro industrial que ya está presente en todo el mundo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. L. Hervás Oliver, C. Bononat Moll, F. Sempere Ripoll, J. A. Belso Martínez, S. Estellés Miguel, and A. Asencio Martínez, “Plan Sectorial de la Alimentación, Plan Estratégico de la Industria Valenciana, Conselleria de Economía Sostenible, Sectores Productivos, Comercio, Trabajo.” 2018. [Online]. Available: <http://www.indi.gva.es/documents/161328133/164106546/Plan+Sectorial+ALIMENTACION+2018.pdf/f7c62bbe-7bf8-4e10-be64-2b39d78a00ef>.
- [2] David Barreiro, “Una industria moderna, flexible, digital y automatizada,” *Eurocarne*, vol. 282, pp. 121–130, 2019, [Online]. Available: <https://eurocarne.com/daar/a1/articulos/a2/28210.pdf>.
- [3] Fuerpla, “Catálogo Formador Diafragma DN-50.” Benetusser, 2019, [Online]. Available: <https://www.fuerpla.com/productos/dosificadores/formador-diafragma-dn-50/>.
- [4] M. Cotteleer and B. Sniderman, “Forces of change: Industry 4.0,” 2017. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>.
- [5] M. Gracia, “IoT - Internet Of Things.” [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/loT-internet-of-things.html>.
- [6] “Castellvall.” <http://www.castellvall.com/es/diafragma/>.
- [7] V. Macián Martínez, “Fundamentos de ingeniería del mantenimiento.” Editorial UPV, Valencia, 2003.
- [8] F. Torres, “Apuntes Ingenierías Informáticas, Universitat d’Alacant.” Alicante.
- [9] E. J. Hurtado Pérez, “Apuntes Ampliación de Máquinas Eléctricas.” Valencia.
- [10] “Electric Automation Network.” <https://www.electricalautomationnetwork.com/es/>.
- [11] Panasonic Electric Works, “Operating Instructions (Overall) AC Servo Motor & Driver MINAS A6 series.” Daito, Osaka, 2016, [Online]. Available: https://www3.panasonic.biz/ac/e_download/motor/fa-motor/ac-servo/manual/minas-a6_manu_e.pdf?f_cd=2586.
- [12] Panasonic Electric Works, “Catálogo Resumen. Productos para la Automatización Industrial.” 2019, [Online]. Available: https://www.panasonic-electric-works.com/pew/es/downloads/sf_automation6215_es.pdf.
- [13] Panasonic Electric Works, “Autómatas programables FP-X Manual de Usuario ACGM0409V3ES.” [Online]. Available: <https://www.panasonic-electric-works.com>.
- [14] EXOR International S.p.A., “eSMART Series Operating Instructions. User’s Manual for

- eSMART Series Touchscreen Products.” [Online]. Available: [http://www.exorint.net/docs/0/4BA91293D491A867C125851100490573/\\$file/MANUGENESMARTxx.pdf](http://www.exorint.net/docs/0/4BA91293D491A867C125851100490573/$file/MANUGENESMARTxx.pdf).
- [15] EXOR International S.p.A., “Product Catalogue Issue 49 v.1.” [Online]. Available: [https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/5244772/Catalogue and Brochures/2020_EXOR_Gen_Catalogue_ENG.pdf?__hstc=192713077.2a4f7ebb012fdd93f19c29b5f02a657e.1594914132583.1598548892184.1598869785038.8&__hssc=&hsCtaTracking=ffb4e0f5-c8b4-46df-aed8-02aab50f6b](https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/5244772/Catalogue%20and%20Brochures/2020_EXOR_Gen_Catalogue_ENG.pdf?__hstc=192713077.2a4f7ebb012fdd93f19c29b5f02a657e.1594914132583.1598548892184.1598869785038.8&__hssc=&hsCtaTracking=ffb4e0f5-c8b4-46df-aed8-02aab50f6b).
- [16] “Corvina Cloud User Manual.” [Online]. Available: https://www.panasonic-electric-works.com/cps/rde/xbcr/pew_eu_en/mn_hm_corvina_cloud_user_peweu_en.pdf.

PRESUPUESTO DE PROYECTO

ANÁLISIS DE MEJORAS OPERATIVAS DE LA FORMADORA CÁRNICA DE DIAFRAGMA 1FCD3

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 13. Desglose de salarios bruto por hora de los profesionales.....	3
Tabla 14. Importe asociado a recursos humanos	4
Tabla 15. Importe asociado al coste de los equipos	5
Tabla 16. Importe asociado a costes indirectos.....	6
Tabla 17. Importe asociado a recursos materiales	6
Tabla 18. Presupuesto total	7

CAPÍTULO 1. JUSTIFICACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se presentan y desglosan los costes derivados a la realización del trabajo que ocupa el presente Trabajo Fin de Master. Se organiza analizando por un lado los costes de recursos humanos o mano de obra y por otro lado los materiales necesarios para la realización del proyecto y amortizaciones o uso de instalaciones. Se finaliza con un resumen del presupuesto total del proyecto. La unidad monetaria empleada en el documento es el euro (€).

1.2. METODOLOGÍA PRESUPUESTARIA

El proyecto consiste en el estudio de ciertas mejoras, la programación de los equipos y la dotación de información necesaria para su montaje. Se trata de un proyecto de consultoría y desarrollo eléctrico por lo que el montaje y desarrollo mecánico no están contemplados en el presupuesto. Las partidas presupuestarias serán las siguientes:

- Recursos humanos: los costes asociados a este apartado incluirán la participación de un Graduado en Ingeniería Eléctrica, que realiza el trabajo, y dos profesores, uno de ellos Profesor Titular de Universidad y el otro Profesor Contratado Doctor, que cotutorizan el trabajo. Queda fuera de la partida y del presupuesto la ingeniería de adaptación de la mecánica de la máquina.
- Recursos materiales: los costes asociados a este apartado incluirán los equipos seleccionados para la aplicación, que se suponen adquiridos en el proyecto para realizar las programaciones y configuraciones. Además, se incluye en el presupuesto el material necesario para completar el cuadro eléctrico, exceptuando el fungible del montaje de este, es decir, cables, punteras y demás, así como herramientas para esta labor. También quedan fuera de esta partida y del presupuesto los materiales mecánicos.

Los precios se han definido en base a las tarifas legales vigentes, realizando estimaciones cuando ha sido necesario. El presupuesto total o resumen supone la suma total de ambas partidas, aplicando un incremento del 5% con concepto de gastos imprevistos. Sobre este neto total se ha de aplicar el Impuesto de Valor Añadido, que supone un 21% del neto.

CAPÍTULO 2. DESGLOSE DE COSTES

2.1. RECURSOS HUMANOS

Se distingue la participación en el proyecto de tres profesionales:

- Estudiante del Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Graduada en Ingeniería Eléctrica, ambas en la UPV: encargada del análisis de la aplicación, las alternativas para implementar las modificaciones requeridas por el cliente y la propuesta de mejoras operativas sobre la aplicación. Programación y parametrización de los equipos y breve estudio económico comparativo de la solución frente a la máquina original.
- Profesor Titular de Universidad: función de gestión del proyecto en colaboración con el Profesor Contratado Doctor. Análisis, resolución de posibles problemas e imprevistos y supervisión del progreso.
- Profesor Contratado Doctor: función de gestión del proyecto en colaboración con el Profesor Titular de Universidad. Análisis, resolución de posibles problemas e imprevistos y supervisión del progreso.

En primer lugar, se estima el precio horario de dedicación de cada uno de los profesionales implicados. Para ello, se obtienen los totales de retribución anual de los profesores, accesibles en las tablas retributivas de la UPV. Los profesores disponen de una jornada de 37.5h semanales y corresponden 46 semanas laborables al año (excluyendo festivos y vacaciones), resultando un total de 1 725 h laborables al año. Para la estudiante del Máster Universitario en Ingeniería Industrial, se tiene en cuenta que previamente cuenta con la titulación profesional de Grado en Ingeniería Eléctrica. Se estima un salario anual coherente con la titulación, de 25 000 € anuales. Una jornada estándar de trabajo se estima de 40 horas semanales, por lo que se consideran, bajo el mismo criterio de 46 semanas laborables anuales, un ejercicio de 1 840 horas anuales. Todos estos datos, así como el precio horario de trabajo resultante, se encuentran resumidos en la Tabla 1.

<i>Profesional</i>	<i>Total retribución anual (€)</i>	<i>Periodo laborable (h)</i>	<i>Salario horario (€/h)</i>
<i>Graduada en Ingeniería Eléctrica</i>	25 000	1 840	13.59
<i>Profesor Contratado Doctor</i>	29 476.58	1 725	17.09
<i>Profesor Titular de Universidad</i>	34 194.30	1 725	19.82

Tabla 1. Desglose de salarios bruto por hora de los profesionales

Una vez determinado el precio horario de los profesionales, se estiman las horas de dedicación de cada profesional para así obtener el coste de recursos humanos total del proyecto. Para los profesores se estima una dedicación total de 2 horas por crédito del trabajo. Al ser dos profesionales compartiendo la tutorización del proyecto, cada profesor dedica 12 horas, siendo el trabajo de 12 ECTS. Los créditos asignados a un TFM equivalen a entre 25 y 30 horas de dedicación por parte del estudiante. Por tanto, para la estudiante se estima una dedicación de 28 horas por crédito. Esto se resumen en la Tabla 2, donde se obtiene también el total del coste del proyecto asociado a recursos humanos.

<i>Profesional</i>	<i>Tasa horaria (€/h)</i>	<i>Horas dedicadas (h)</i>	<i>Importe (€)</i>
<i>Graduada en Ingeniería Eléctrica</i>	13.59	336	4 566.24
<i>Profesor Contratado Doctor</i>	17.09	12	205.08
<i>Profesor Titular de Universidad</i>	19.82	12	237.84
TOTAL			5 009.16 €

Tabla 2. Importe asociado a recursos humanos

2.2. RECURSOS MATERIALES

Esta partida presupuestaria se refiere al material necesario para el desarrollo del proyecto. También se incluirá la amortización de elementos necesarios para su desarrollo, así como servicios requeridos.

En primer lugar, se valorarán los costes directos de la adquisición de los equipos seleccionados en el proyecto y material para cablearlos. Estos precios se obtienen directamente de tienda online, contactando con distribuidores específicos de sus marcas o por medio de una estimación para el cableado.

A la hora de estimar el coste del cableado y programación, se tiene en cuenta que los cables requeridos para equipos de ingeniería específicos, como son el servomotor y el controlador, tienen un coste superior a un cableado sin conectores configurados. Además, se trata de cables apantallados protegidos frente a interferencias electromagnéticas.

La Tabla 3 contiene un resumen de los costes de los equipos, que implican un gasto constante en cada unidad de formadora fabricada.

<i>Equipo</i>	<i>Importe (€)</i>
<i>Controlador MBDLT25SF</i>	425.57
<i>Servomotor MSMF042L1U1</i>	293.76
<i>Autómata AFPXC14PD</i>	221.91

<i>Casete AFPXCOM3</i>	99.93
<i>Pantalla eSmart04M</i>	200.00
<i>Cableado programación y pruebas</i>	250.00
TOTAL	1 491.17 €

Tabla 3. Importe asociado al coste de los equipos

Además del coste de los equipos, en esta partida se valoran otros costes indirectos de elementos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Durante la realización del presente trabajo se ha empleado un espacio a tal fin, con conexión a internet, un PC particular, así como licencias de software Microsoft Office, Panaterm, FPWin y JMobile. Para el diseño eléctrico del proyecto se ha empleado también el software Autocad. Por último, para habilitar la conexión remota se requiere un pago único de la licencia de Corvina Cloud.

El valor de compra aproximado del ordenador es de 800.00 €, y su tiempo de amortización se puede fijar en 5 años. El valor residual de dicho ordenador se establece en un 20% de su precio de compra, por tanto, sería 160.00 €.

$$a = \frac{V_C - V_R}{n}$$

Siendo:

a = amortización (€/año)

V_C = valor de compra del equipo

V_R = valor residual del equipo

n = periodo de amortización

Con ello, se obtiene una amortización (a) de 128.00 €/año lo que supone 2.46 € semanales. El trabajo se ha realizado en 366 horas, es decir, 9.15 semanas. Se obtiene así el coste de amortización del ordenador, que se emplea para el análisis, la programación y redacción del presente documento.

Para la valoración del espacio utilizado, se tiene en cuenta tanto el despacho u oficina habilitado con mesa y silla de trabajo, como la electricidad requerida y la conexión a internet. El dato de este concepto es una estimación.

Por último, con respecto a las licencias, el Corvina Cloud tiene licencia específica para habilitar el acceso remoto a una pantalla. Además, el software de programación de la pantalla tiene coste pero se puede emplear a modo de prueba durante un mes (30 días naturales) de forma gratuita. Como la programación de la pantalla se realiza en un tiempo inferior a este periodo, el coste de este software se establece en 0.00€. Los otros softwares empleados (Panaterm para el controlador y FPWin para el autómatas) no requieren de licencia: se entregan junto con los equipos y son gratuitos.

La licencia de Microsoft Office y Autocad es gratuita para estudiantes de la UPV. Por ello, para este proyecto englobado en un marco educativo, se establece precio nulo de las mismas.

El resumen de estos costes indirectos se encuentra en la Tabla 4.

<i>Concepto</i>	<i>Importe (€)</i>
<i>Uso de ordenador</i>	22.52
<i>Espacio de trabajo habilitado</i>	100.00
<i>Licencia Corvina Cloud</i>	90.00
<i>Licencia JMobile 1 PC</i>	0.00
<i>Licencia Microsoft Office</i>	0.00
<i>Licencia Autocad Student</i>	0.00
TOTAL	212.52 €

Tabla 4. Importe asociado a costes indirectos

Con esto, se puede resumir la partida de recursos materiales en la Tabla 5.

<i>Concepto</i>	<i>Importe (€)</i>
<i>Materiales</i>	1 491.17
<i>Costes indirectos</i>	212.52
TOTAL	1 703.69 €

Tabla 5. Importe asociado a recursos materiales

CAPÍTULO 3. RESUMEN

El resumen o presupuesto total se obtiene de la suma de las diferentes partidas presupuestarias anteriores: recursos humanos y recursos materiales. Además, se añade sobre el subtotal un 5% en concepto de medios auxiliares, y a esta suma se le aplica el impuesto sobre el valor añadido (IVA) que es un 21%. Este presupuesto total se refleja en la Tabla 6.

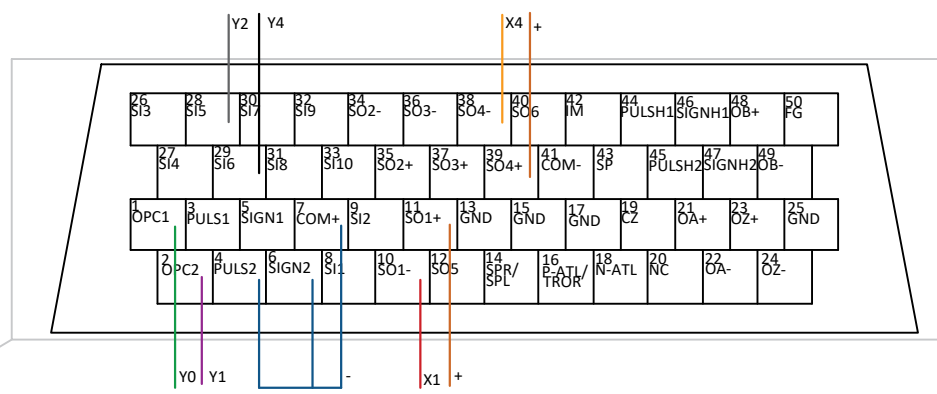
<i>Concepto</i>	<i>Importe (€)</i>
<i>Recursos humanos</i>	5 009.16
<i>Recursos materiales</i>	1 703.69
<i>SUBTOTAL</i>	6 712.85 €
<i>5 % medios auxiliares</i>	335.64
<i>21 % IVA</i>	1 480.18
<i>TOTAL</i>	8 528.67 €

Tabla 6. Presupuesto total

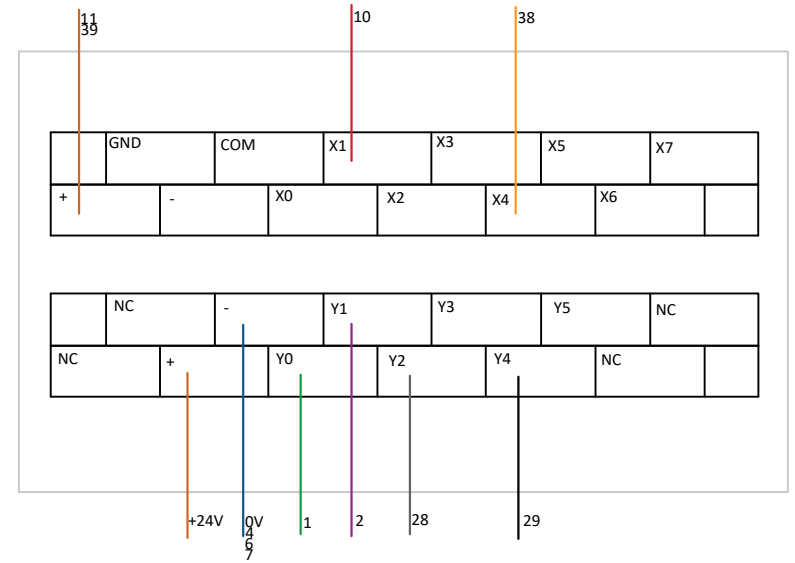
El presupuesto total del proyecto asciende a **OCHO MIL QUINIENTOS VEINTIOCHO EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS.**

PLANO DE PROYECTO

ANÁLISIS DE MEJORAS OPERATIVAS DE LA FORMADORA DE DIAFRAGMA 1FCD3



7	COM+	OPC1	1
33	INH	PULS1	3
30	CL	PULS2	4
Servo-ON input	SRV-ON	OPC2	2
27	GAIN	SIGN1	5
Electronic gear switching input 1	DIV1	SIGN2	6
26	VS-SEL1	GND	13
32	C-MODE	OA+	21
31	A-CLR	OA-	22
9	POT	OB+	48
8	NOT	OB-	49
35	S-RDY+	OZ+	23
34	S-RDY-	OZ-	24
37	ALM+		
36	ALM-		
Positioning complete output	IMP+	GND	25
38	IMP-	CZ	19
External brake release output	BRKOFF+		
11	BRKOFF-		
10	TLC		
40			
12	ZSP	SPR/TRQR/SPL	14
41	COM-	GND	15
44	PULSH1	P-ATL/TRQR	16
45	PULSH2	GND	17
46	SIGNH1	N-ATL	18
47	SIGNH2		
13	GND	SP	43
	FG	IM	42



Cable	PIN autómatas	PIN controlador	Función
	+	11, 39	+24VDC
	-	4, 6, 7	0VDC
	X1	10	Límite de par de controlador a autómatas
	X4	38	Servo en posición de controlador a autómatas
	Y0	1	Servo en posición de autómatas a controlador
	Y1	2	Control de posición de autómatas a controlador
	Y2	28	Cambio de control automático de autómatas a controlador
	Y4	29	Servo ON de autómatas a controlador