



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**AUTOMATIZACIÓN DE FILTROS DE ASPIRACIÓN NEUMÁTICA DE  
MOTORES PASO A PASO CON PLC 1200, MHS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
INGENIERO EN MECATRÓNICA

**PRESENTADO POR:**

ASHLEY EMERY FAJARDO RIVERA  
21411197

ASESOR: ING. DARWIN REYES HERNÁNDEZ

CAMPUS SAN PEDRO SULA, HONDURAS

Octubre de 2018

## **Dedicatoria**

—S—

*Este proyecto se lo dedico a Dios quien me guio por el buen camino, me dio fuerzas para seguir adelante y no perecer ante los problemas que se presentaban; enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la fe o desfallecer en el intento.*

*A mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para mi educación. Me han formado lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para alcanzar mis metas.*

*Gracias también a todas aquellas personas que estuvieron a mi lado durante todos estos años y todos aquellos que permitieron que esto fuera posible.*

**- Ashley Emery Fajardo Rivera -**

—S—

***“Los científicos estudian el mundo como es, los ingenieros crean al mundo que nunca ha existido.”***

***-Theodore Van Kármán-***

# Índice de Contenido

I. Introducción.....	1
II. Planteamiento del Problema.....	2
2.1 Antecedentes .....	2
2.2 Definición del Problema.....	2
2.3 Preguntas de Investigación .....	3
2.4 Objetivos.....	3
2.4.1 Objetivo General .....	3
2.1.2 Objetivos Específicos .....	3
2.5 Justificación .....	4
III. Marco teórico.....	5
3.1 Molino Harinero de Sula.....	5
3.1.1 Proceso y productos .....	6
3.2 Proceso de Filtrado .....	8
3.2.1 Filtro FKC/A .....	8
3.3 Funcionamiento de la maquina .....	9
3.4 Distribuidor de aire .....	10
3.4.1 Motor paso a paso .....	10
3.4.2 Electroválvula .....	12
3.5 Panel de mando (Timer tipo FKC 2) .....	13
3.6 Regulación de los selectores.....	13
3.6.1 Selector T1 [tiempo de pausa] .....	14
3.6.2 Selector T2 [tiempo de impulso].....	14
3.6.3 Selector N [tiempo de pausa T3 del dispositivo para agitar la tolva].....	15
3.7 Compresor de aire.....	16
3.8 Centralización de los tres filtros.....	16
3.9 Funcionamiento de la centralización.....	18
3.9.1 Programación.....	19
3.9.2 HMI .....	22

3.9.3 Profibus.....	23
3.10 Materiales y equipo.....	24
IV. Metodología .....	25
4.1 Hipótesis.....	25
4.2 Variables de investigación.....	25
4.2.1 Variables independientes .....	25
4.2.2 Variables dependientes .....	25
4.3 Enfoque y métodos.....	26
4.3.1 Enfoque cuantitativo .....	26
4.3.2 Enfoque cualitativo.....	26
4.4 Población y muestra.....	27
4.5 Técnicas e instrumentos aplicados.....	27
4.6 Fuentes de información .....	27
4.6 Cronograma de actividades .....	28
V. Resultados y análisis .....	29
5.1 Funcionamiento correcto después de la instalación .....	29
5.2 Toma de datos.....	30
5.2.1 Mes de agosto .....	32
5.2.2 Mes de septiembre.....	32
5.3 Producción de Harina A.....	33
5.4 Análisis.....	35
5.5 Resultados.....	38
5.6 Costos de inversión .....	41
VI. Conclusiones .....	42
VII. Recomendaciones.....	43
Para la empresa .....	43
Para la universidad .....	43
VIII. Bibliografía .....	44
IX. Anexos .....	46
Anexo I. Filtro FKC/A .....	46
Anexo II. Inyector de aire a baja presión.....	47
Anexo III. Sistema de mangas filtrantes .....	48

Anexo IV. Distribuidor de aire .....	49
Anexo V. Panel de mando de tiempos.....	51
Anexo VI. Agitador del filtro.....	52

## **Índice de ilustraciones**

Ilustración 1. Productos de Molino Harinero de Sula .....	7
Ilustración 2. Motor paso a paso 60L024B2U .....	11
Ilustración 3. Dimensiones de motor paso a paso .....	11
Ilustración 4. Especificaciones del motor paso a paso .....	12
Ilustración 5. S7 1200 – SIEMENS .....	17
Ilustración 6. Orden de funcionamiento de los componentes centrales del sistema ..	20
Ilustración 7. Diagrama de funcionamiento de programación .....	21
Ilustración 8. Ejemplo de interfaz de la HMI.....	23
Ilustración 9. Días de funcionamiento del mes de agosto.....	30
Ilustración 10. Días de funcionamiento del mes de septiembre .....	31

## Índice de tablas

Tabla 1. Características técnicas del panel de mando .....	13
Tabla 2. Tiempo de impulso .....	14
Tabla 3. Variable K para el tiempo de pausa del dispositivo para agitar la tolva .....	15
Tabla 4. Cronograma de actividades .....	28
Tabla 5. Días del mes de agosto que molino 5 no trabajó .....	32
Tabla 6. Días del mes de agosto que molino 5 no trabajó .....	32
Tabla 7. Comparación de los meses de agosto y septiembre .....	33
Tabla 8. Porcentaje de trabajo de marzo a agosto .....	34
Tabla 9. Total en kilogramos producidos de marzo a agosto .....	34
Tabla 10. Grafica de producción en kilogramos mensual .....	35
Tabla 11. Precios de venta a clientes; de harinas El Gallo y La Rosa .....	36
Tabla 12. Total de producción de harina (en kg) El Gallo y La Rosa, mensual.....	36
Tabla 13. Ingreso por producción de marzo a mayo .....	37
Tabla 14. Ingreso por producción de abril a agosto .....	37
Tabla 15. Calculo de trabajo no realizado en base a un 85% .....	38

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Tiempo para agitar la tolva .....	15
---	----

## Glosario

- **Agitador:** Dispositivo o aparato para revolver o agitar líquidos.
- **Aire comprimido en sucesión:** Acción de suceder una serie de elementos en el espacio, en el tiempo o en un orden.
- **Centralizar:** Reunir cosas distintas o de diversa procedencia en un lugar común o bajo una misma dirección; o hacer que distintas cosas dependan de un poder central.
- **Cernido:** Separar con el cedazo o la criba, la parte fina de una materia reducida a polvo de las partes más gruesas, especialmente la harina del salvado.
- **Depurar:** Quitar de una cosa lo malo, lo que es extraño o lo que no sirve para dejarla pura.
- **Inocuidad:** Se refiere a la existencia y control de peligros asociados a los productos destinados para el consumo humano a través de la ingestión como pueden ser alimentos y medicinas a fin de que no provoquen daños a la salud del consumidor.
- **Inyector:** Aparato o dispositivo para introducir a presión un líquido o un gas en una cavidad.
- **Membrana:** Lámina fina de material elástico.
- **Molienda:** Proceso que consiste en desmenuzar una materia sólida, especialmente granos o frutos, golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta reducirla a trozos muy pequeños, a polvo o a líquido.
- **Tolva:** Recipiente en forma de pirámide o cono invertido, con una abertura en su parte inferior, que sirve para hacer que su contenido pase poco a poco a otro lugar o recipiente de boca más estrecha.

## I. Introducción

Con el paso de los años ha surgido una tendencia de automatizar. Esto ha sido de manera progresiva para procesos productivos de todo tipo. Es decir que se ha llegado a un punto en el que la automatización de los procesos se ha convertido en una necesidad. Una necesidad para sobrevivir en el mercado actual y no quedarse atrás en términos de producción. Como se sabe, uno de los objetivos principales de la automatización es mejorar la productividad y reducir costos en un proceso de producción.

Muchas veces en un proceso automatizado ocurren fallos que causan pérdidas al retrasarse la producción. Dependiendo de qué tan demandante sea el producto se pueden llegar hasta perder millones de lempiras por paros por fallos. “Una de las razones principales para el uso de sistemas automatizados fue y sigue siendo la necesidad de producir a costos cada vez menores para ser competitivos.” (F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz, 2008)

Es el caso de Molino Harinero de Sula y las tarjetas de control de los filtros de descarga de harina de trigo. Toda máquina o equipo tiene un periodo de vida útil y estas tarjetas no son la excepción. En los últimos años se ha lidiado con el problema de avería de las tarjetas de control y tener que realizar paros de producción para hacer cambio de tarjetas. Muchas veces es porque estas se han quemado. Hoy en día la planta ya no cuenta con tarjetas de control de repuesto en caso de que alguna en uso sufra de daños.

Por lo enunciado anteriormente, el propósito de este proyecto es centralizar el proceso ya automatizado de descarga, en los filtros. Remover por completo las placas de control de este proceso y así evitar paros por averías. Controlar mediante un PLC 1200, los tres filtros y la variable de tiempo de disparo de los motores paso a paso. Con la implementación de una pantalla LCD se pueda manejar dicha variable de tiempo.

## **II. Planteamiento del Problema**

### **2.1 Antecedentes**

Molino Harinero de Sula es una empresa dedicada a la elaboración de harinas y derivados de trigo, comprometida en entregar a sus clientes productos de calidad superior y garantizar la inocuidad de los mismos. En los últimos cinco años se han realizado inversiones de gran importancia, esta es una empresa que desde su fundación ha evolucionado de forma constante. No solo económica sino que a su vez tecnológica, ya que a través de una mejora continua e innovación es como se logra generar procesos eficientes que se ven reflejados en los productos finales.

En 2016 durante una inspección de rutina se dieron cuenta que la tarjeta de control de uno de los filtros de molino cinco, no estaba mandando la señal. Esta no estaba activando el motor paso a paso. Ese día estaba agendado para dar mantenimiento a varias áreas del molino cinco y el error se presentó durante el vaciado del filtro y debido a eso no fue una pérdida mayor con respecto a producción. Pero, el único repuesto con el que se contaba fue utilizado para reemplazar la tarjeta dañada.

### **2.2 Definición del Problema**

El departamento de electrónica es el que se encarga de dar mantenimiento o reparar estos componentes en caso de fallo o avería. Para este fallo lo que se hizo con la tarjeta de control es que fue reparada. Durante esta misma inspección encontraron que otra tarjeta de control si tenía una avería grave y esta fue reemplazada por una tarjeta de repuesto en existencia. El único repuesto con el que se contaba.

Esta tarjeta de control para los motores paso a paso tiene un costo aproximado de L.19,000.00 y su distribuidor oficial es OCRIM. En caso de una avería esta tarjeta de control solo puede ser comprada en Italia y tarda aproximadamente de uno a tres meses en llegar. Estas tarjetas de control no se encuentran de forma local.

### **2.3 Preguntas de Investigación**

- ¿Cuál sería el impacto en pérdidas de producción si al implementar el PLC 1200 llegara a ocurrir una falla?
- ¿Cómo se puede mejorar la eficiencia del proceso mediante la centralización de los tres filtros de molino cinco?
- ¿Cuál sería el costo aproximado ahorrado a largo plazo al implementar un PLC y centralizar los tres filtros?

### **2.4 Objetivos**

La automatización es el proceso de mecanización de las actividades industriales para reducir la mano de obra y simplificar el trabajo. (Océano Uno, 2001) En este caso el sistema con el que se está trabajando ya está automatizado, pero se busca una mejora para el mismo.

A continuación se presentan el objetivo general y el específico del propósito de este proyecto.

#### **2.4.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema automatizado con un PLC 1200 para la centralización de filtros de aspiración neumática con motores paso a paso, del molino cinco.

#### **2.1.2 Objetivos Específicos**

- Analizar las pérdidas en producción que se generan en caso de reportarse fallas.
- Demostrar evidencia de una mejora en el rendimiento del proceso de producción mediante la centralización de los tres filtros
- Analizar el ahorro generado a largo plazo al implementar el PLC y centralizar los tres filtros.

## **2.5 Justificación**

En Molino Harinero de Sula a través de la mejora continua y la innovación se logra generar procesos eficientes que se ven reflejados en sus productos. Para cada día hay una meta de producción que debe ser cumplida y eso no solo involucra el trabajo de los operarios sino también el buen funcionamiento de la maquinaria. Los filtros de cada molino son puntos críticos dentro del área de producción. Si estos filtros fallan, la producción se ve afectada.

Estos filtros se encargan de separar la harina de trigo del tamo de trigo. Dentro de cada filtro se encuentra una serie de 60 mangas para filtrar y una sola electroválvula. Mediante un motor paso a paso y una tarjeta de control con circuitos integrados se programa el tiempo de disparo del motor. El motor paso a paso se encarga de hacer la distribución de aire que va a llegar a cierto grupo de mangas contenidas dentro del filtro.

Si estas tarjetas de control llegan a fallar y no hay una correcta comunicación con el motor paso a paso no solo se produce un paro de producción sino que aparte de haber pérdidas también se ve afectada la pureza del producto. Para una empresa como Molino Harinero de Sula que cuenta con una certificación FSSC ISO 22000 esto puede llegar a ser un grave problema. Y, según Besterfield (2009) "La ingeniería de diseño y control traduce los requisitos de la calidad por parte del cliente en características de operación, especificaciones exactas y tolerancias adecuadas para un nuevo producto o servicio, o la modificación de un producto establecido."

### **III. Marco teórico**

“La dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo.” (Project Management Institute, 2008) Como sabemos un sistema mecatrónico no solo es la unión de la mecánica y la electrónica, es más que solo un sistema de control. En sí es la integración de todas estas áreas y a la cual se le da un enfoque hacia el diseño.

El trabajo del ingeniero mecatrónico es mejorar procesos, volverlos más eficientes, solucionar problemas, mejorar u optimizar un diseño. Cuando hablamos de procesos de producción este término va estrechamente ligado con el término “tiempo” y este a su vez desglosa una serie de factores que pueden hacer que ese tiempo se traduzca en pérdidas. Y, según Niebel (2002) “El único camino para que un negocio o empresa pueda crecer y aumentar su rentabilidad o sus utilidades es aumentando su productividad.” Por eso el ingeniero busca a optimizar estos procesos de producción.

El presente capítulo contiene un desglose de todo el fundamento teórico del proyecto. Se define la importancia de centralizar los filtros junto con la función de ellos dentro del proceso y las pérdidas generadas cada vez que ocurre una falla.

#### **3.1 Molino Harinero de Sula**

Actualmente Molino Harinero Sula, S.A. es una empresa comprometida en entregar experiencias de valor en productos, servicios, procesos y resultados para los negocios de sus clientes, para contribuir al bienestar de las comunidades donde opera. “La calidad no se ha convertido únicamente en uno de los requisitos esenciales del producto, sino que, en la actualidad, es un factor estratégico clave del que dependen la mayor parte de las organizaciones, no solo para mantener su posición en el mercado, sino para asegurar la satisfacción del cliente.” (Cristina Abril Sánchez, 2012)

Molino Harinero de Sula es una empresa que tiene un compromiso con el bienestar de sus consumidores y clientes, invierte en el crecimiento de su planta y acondicionamiento de la empresa para obtener la certificación FSSC ISO-22000 que garantiza la inocuidad de los productos que elabora.

Según Unda Opaza (2002) "La salubridad relaciona todos los factores y aspectos que conciernen al mejoramiento de las condiciones de vida de la población y al cuidado de la salud colectiva." La salubridad, la práctica de buenas costumbres de higiene y la fomentación a los empleados sobre la higiene personal son factores que día a día permiten que se cumpla la meta de distribuir productos inocuos.

### **3.1.1 Proceso y productos**

El trigo para poder llegar a ser la harina que consumimos en nuestros hogares pasa por una serie de procesos antes de que pueda convertirse en algo comestible.

Ya una vez el trigo ha sido descargado de los camiones de transporte y pasa a una unidad de almacenamiento como un galpón o un silo, se inicia el proceso de producción de harina de trigo. En Molino Harinero de Sula se trabaja con tres tipos de trigo el cual cada uno tiene características diferentes. Estos tres tipos son:

- Trigo blando
- Trigo duro
- Trigo espelta

Estos trigos dependiendo de sus características están destinados a convertirse en harina de trigo de ciertas marcas. Por ejemplo, el trigo blando suele usarse para harinas con finalidad repostería.



**Ilustración 1.** Productos de Molino Harinero de Sula

Fuente: (Molino Harinero de Sula, 2016)

La harina de trigo es el producto polvoriento y ligeramente granuloso, de color blanco cremoso tenue, obtenido a partir de procedimientos de molienda y cernidos sucesivos de granos de trigo común sanos y debidamente acondicionados.

De estos se separan parte del salvado, el germen y el resto (endospermo), se muele hasta obtener un tamaño de partícula adecuado. Según Lluís Cuatrecasas Arbós (2011) "La producción se lleva a cabo por medio de la ejecución de un conjunto de operaciones integradas en procesos."

El proceso de molinación se divide en tres etapas: limpieza y preparación del grano, molienda y cernido posterior a ello el almacenamiento del producto terminado y entrega. La Ilustración 1 es una imagen representativa de todos los productos elaborados por el Molino Harinero de Sula, en su presentación después del empaque.

#### Limpieza y preparación del grano:

En esta etapa, el trigo pasa por diferentes subprocesos con el objetivo de separar todas las impurezas sin dañar la integridad del grano obteniéndose como resultado un endospermo listo para la molienda.

Durante la molienda se separa el salvado de la parte harinosa. El trigo se tritura en diferentes pasajes donde se obtienen productos intermedios (sémolas) y productos

finales (harinas y subproductos). La molienda es un conjunto de operaciones compuestas por trituraciones (bancos), clasificadores y por un grupo de bancos que reducen el tamaño de las sémolas compuestas por gruesos y finos. La harina y los subproductos pasa al proceso de filtrado para luego poder ser almacenado en tolvas para su posterior empaque.

### **3.2 Proceso de Filtrado**

Una vez es obtenida la harina como producto del proceso de molienda y cernido, es necesario que ésta se vea sometida a un proceso más y ese es el de filtrado. Cada molino dentro de la empresa Molino Harinero de Sula consta de tres filtros. El propósito de estos filtros es liberar cierta cantidad de aire a presión y distribuirlo a unas mangas que contienen harina. Esto permite que la harina pueda ser separada del tamo de trigo y así pueda quedar en su forma más pura para pasar al área de empaque.

El proceso de filtrado es un punto crítico en la producción ya que es de los últimos procesos por los que pasa la harina de trigo antes de poder ser empacada y así ser distribuida. Pero al igual que cualquier proceso este no está exento de sufrir una falla y según Edward V. Krick (2004) "No existe procedimiento, practica o política en el mundo que no adolezca de imperfecciones y desventajas". Por eso la importancia de una solución eficaz a estas fallas.

#### **3.2.1 Filtro FKC/A**

Para el proceso de filtrado, los tres filtros con los que cuenta el molino cinco, están equipados cada uno con sesenta mangas en su interior. Estos filtros son distribuidos y diseñados por la marca italiana OCRIM. Este equipo la empresa Molino Harinero de Sula los incorporo a su línea de producción desde el año 2009.

El filtro de aire modelo FK/A es una maquina proyectada y construida para filtrar/depurar el flujo de aire que llega desde los equipos de transporte neumático o desde equipamiento de aspiración. Según Katsushiko Ogata (2003) "El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia." Una ventaja de este filtro de aire es que no necesita de la presencia constante de un operador para desarrollar operaciones de dirección o conducción, de control y/o regulación.

### **3.3 Funcionamiento de la maquina**

El flujo de aire a filtrar, que llega de un equipamiento de transporte neumático o aspiración, entra en el cuerpo central de la maquina por medio de adecuadas tuberías de conexión. El aire polvoriento aspirado por el ventilador por medio de la conexión, atraviesa las mangas filtrantes liberándose de polvos y o pequeños fragmento; que quedan retenidos en el tejido filtrante. En este caso se separa la harina de trigo del tamo de trigo.

La limpieza de las mangas filtrantes cada una montada sobre la propia caja, es ejecutada con constantes chorros de aire comprimido, a intervalos precisos de tiempo; controlados desde el panel de mando o timer. La introducción de aire comprimido en cada manga filtrante es dirigida desde el distribuidor y se realiza por medio de los inyectores. Estos inyectores están dotados de membrana.

Esta acción provoca el agitación del tejido filtrante, separando el polvo o tamo de trigo que se adhiere a la superficie u expulsando el que se infiltra en la trama del tejido mismo. Los productos despegados de las mangas filtrantes confluyen en una tolva para vaciar la máquina.

La sucesión de los chorros de aire comprimido (tiempo de pausa – T1), y su duración (tiempo de impulso, T2), son los parámetros regulables en función de la cantidad de

polvo presente en el flujo de aire, que llega desde el equipamiento de aspiración o de transporte neumático.

La correcta regulación de dichos parámetros, por medio del uso de adecuados selectores internos hacia el panel de mando se mostrara más adelante en el texto. El filtro es suministrado con un manómetro diferencial utilizado para medir la prevalencia (perdidas de descarga) en el interior del cuerpo central.

La prevalencia, indicada sobre el manómetro debe ser inferior a:

- 12 cm.c de agua (para filtros instalados al servicio de equipos de aspiración);
- 18 cm.c de agua (para filtros empleados al servicio de equipos de transporte neumático).

Valores superiores señalan:

- Mangas filtrantes desgastadas o sucias;
- Regulación no correcta de tiempo de pausa T1;
- Mal funcionamiento de una o más válvulas de membrana;
- Perdidas de aire comprimido.

### **3.4 Distribuidor de aire**

La tarea del equipo es distribuir, a cada inyector, el aire comprimido contenido en el tanque.

#### **3.4.1 Motor paso a paso**

El filtro cuenta con un motor paso a paso acoplado a un sistema de engranajes donde un total de tres engranajes son los que permiten que cada treinta grados la presión de aire sea liberado a cierto número de mangas.

Según Timothy J. Maloney (2006) el motor de pasos es más adecuado para mover el eje una cantidad exacta de giro. El motor paso a paso es muy útil ya que se puede



En la ilustración 2 y 3 se muestra como es físicamente el motor paso a paso que se encuentra dentro del sistema de distribución de aire y sus dimensiones.

Como cualquier componente o dispositivo el motor paso a paso de este sistema cuenta con una hoja de especificaciones para su funcionamiento y en la ilustración 4 podemos observar los datos del motor.

Electrical Data		60L024B2U Unipolar	
1	Operating Voltage	12	VDC
2	Resistance per Phase, ± 10%	26.2	Ohms
3	Inductance per Phase, typ	32.0	mH
4	Rated Current per Phase *	0.46	A
Coil independent parameters			
5	Holding Torque, MIN *	130.64 (18.5)	mNm (oz-in)
6	Detent Torque, Max	28.25 (4)	mNm (oz-in)
7	Rotor Inertia	95 (0.52)	gcm <sup>2</sup> (oz-in-s <sup>2</sup> )
8	Step Angle	15.0	Degree
9	Absolute accuracy 2 ph. On, Full step	±1	Degree
10	Steps per Revolution	24	
11	Ambient Temp Range (operating)	-20 TO 70 (-4 TO 158)	°C (°F)
12	Maximum Coil Temperature	130 (266)	°C (°F)
13	Bearing Type	Sintered Bronze Sleeve	
14	Insulation Resistance at 500 VDC	100	Mohms
15	Dielectric Withstanding Voltage	650 VRMS for 2 seconds	VAC
16	Weight	440 (15.5)	g (oz)
17	Leadwire	AWG#24, UL 1430 (105°, 300V)	
All Motor Data Values at 20°C Unless Otherwise Specified			

#### **Ilustración 4.** Especificaciones del motor paso a paso

Fuente: (Portescap 2018)

### **3.4.2 Electroválvula**

Según W. Bolt (2013) Las válvulas se usan con sistemas neumáticos e hidráulicos para dirigir y regular el flujo del fluido. En este caso el fluido con el que se está trabajando es el aire.

Dentro del filtro se encuentra una electroválvula que se acciona cada vez que el motor gira treinta grados y activa un final de carrera. Esta electroválvula es la que se encarga de liberar el aire.

Este sistema neumático se complementa con el sistema mecánico del motor paso a paso y el sistema electrónico de control lo que permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad dentro del sistema. "Las ventajas que presenta el uso de la neumática son el bajo coste de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación y el bajo par o la fuerza escasa que puede desarrollar a las bajas presiones con que trabaja (típico 6 bar) lo que constituye un factor de seguridad." (Antonio Creus Solé, 2007)

### 3.5 Panel de mando (Timer tipo FKC 2)

El objetivo del panel de mando es enviar, por medio de adecuada conexión eléctrica, pulsos de mando al distribuidor de aire y a la electroválvula del dispositivo. El timer debe de ser instalado en las inmediaciones del filtro a una distancia de 2m máximo; o bien, aplicado y fijado sobre una pata. Las especificaciones técnicas del panel de mando se muestran a continuación en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características técnicas del panel de mando

Panel de mando	
Dimensiones máximas	220x280x130 mm
Nivel de protección	IP 54
Alimentación	110/220 V [ $\pm 10\%$ ]
Potencia absorbida	50 Va

### 3.6 Regulación de los selectores

En función de las propias necesidades tecnológicas, y de la cantidad de polvo presente en el flujo de aire cuando llega desde el equipamiento de aspiración, o de transporte neumático; el operador debe preparar/tarar sobre el panel de mando los parámetros del sistema de la máquina. En el interior del dispositivo son visibles tres selectores (ilustrados en la figura), cada uno registrable por medio de la ruedecilla Z.

### 3.6.1 Selector T1 [tiempo de pausa]

Permite de preparar el intervalo de tiempo, en segundos, que sucede entre dos chorros (disparos) de aire comprimido en sucesión.

Y, debe permitir al compresor puesto al servicio de la maquina por medio de una conexión C, el restablecimiento de la presión del aire comprimido en el tanque 1a: aproximadamente 0.50 Bar para el filtro FKC/A modelos 56-72-96-120.

### 3.6.2 Selector T2 [tiempo de impulso]

Permite preparar la duración en centésimas de segundo, de un chorro (disparo) de aire comprimido donde la duración del chorro debe garantizar la correcta limpieza de cada manga filtrante.

**Tabla 2.** Tiempo de impulso

Tiempo	Modelo de filtro
18 centésimas de segundo	12 y 24
22 centésimas de segundo	36
26 centésimas de segundo	56
32 centésimas de segundo	72 y 96
26 centésimas de segundo	120

En la tabla 2 se muestran los valores de la variable tiempo de impulso en centésimas de segundo dependiendo del modelo del filtro con el que se esté trabajando. Los filtros que se encuentran en molino cinco son modelo 72 y 96 (dos de ellos), el tiempo de impulso es de 32 centésimas de segundo.

### 3.6.3 Selector N [tiempo de pausa T3 del dispositivo para agitar la tolva]

Este selector debe ser calibrado solo si la tolva de descarga 3 es suministrada completamente con el dispositivo para agitar la tolva y permite de preparar el intervalo de tiempo, en segundos que sucede entre dos agitamientos en sucesión de la tolva misma. El tiempo de pausa del dispositivo para agitar la tolva es el resultado de la siguiente relación como se muestra en la ecuación 1:

$$T3 (\text{segundos}) = T1 (\text{segundos}) * K$$

**Ecuación 1.** Tiempo para agitar la tolva

Fuente: (OCRIM, 2012)

Donde; T1 es el intervalo de tiempo, en segundos, que sucede simultáneamente entre dos chorros de aire comprimido en sucesión.

K es la variable (redimensionada) que puede asumir los siguientes valores.

Calibrando sobre el selector N donde dependiendo del valor N que se escoja dependerá la constante K para el tiempo de pausa así como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Variable K para el tiempo de pausa del dispositivo para agitar la tolva

N	
0	K = 1
1	K = 1
2	K = 2
3	K = 4
4	K = 8
5	K = 16
6	K = 32
7	K = 64

### **3.7 Compresor de aire**

El funcionamiento básico de un compresor es tomar gas o aire del ambiente, almacenarlo dentro del tanque y comprimirlo para así poder darle potencia a componentes neumáticos al momento de liberar el aire ya comprimido. Según Robert C. Rosaler (2000) "Los compresores son iguales a las bombas en cuanto a construcción básica y su función. La función básica del compresor consiste en presurizar un gas de la misma forma en que una bomba somete a presión un líquido."

El compresor que trabaja con este sistema carga y comprime aire para distribuirlo a tres filtros de forma simultánea. Debido a que cada cierto tiempo se hace cambio de compresor este sistema tiene una variable y esa es la del tiempo con respecto al compresor con el que trabaja en ese momento.

Hay una razón por la cual estos filtros son muy importantes, y es que no solo ayudan en el proceso de limpieza de la harina sino que también juegan un rol importante en el transporte de esta misma. Según Fernando Reyes Cortes, Jaime Cid Monjaraz y Emilio Vargas Soto (2013) "El empleo de aire comprimido representa ventajas de seguridad, por ejemplo la generación, almacenamiento, empleo del aire comprimido, son más económicos y muchos menos peligrosos en relación al trabajo con líquidos."

Existen una infinidad de procesos que varían con el tiempo, es decir que sus características cambian con el tiempo, retardos en el sistema y ganancias que pueden variar por causas externas que en nuestro caso sería el compresor variable.

### **3.8 Centralización de los tres filtros**

El flujo de aire, dirección de movimiento y presión representan algunas de las variables que se pueden controlar por medio de un sistema de control digital programable. Según Richard C Dorf y Robert H Bishop (2005) "El objetivo de los

sistemas de control es proporcionar una gran flexibilidad y un elevado nivel de autonomía.”

La idea de centralizar estos tres filtros es con el objetivo de eliminar las tarjetas de control que vienen incorporadas a cada filtro. Como se hizo mención al inicio de este reporte, cada tarjeta de control tiene un costo aproximado de 19,000 lempiras. Distribuidor no se encuentra de forma local. OCRIM que es el distribuidor de los filtros y al ser una empresa italiana, si llega a haber un fallo con las tarjetas para poder remplazarlas se tiene que hacer la compra y esperar que lleguen desde Italia. El tiempo aproximado de llegada ronda entre un mes y tres meses dependiendo si se hace vía aérea o marítima.

Para centralizar los tres filtros se incorporó un PLC S7 1200 de Siemens, así como se muestra en la ilustración 5, mediante un distribuidor local como ser AINSA. Al tener ya un distribuidor de forma local con ellos mismos se realizó la cotización también para una alternativa a las tarjetas de control. Según Musa Jouaneh (2017) “Muchos sistemas de control tienen el propósito de activar o desactivar eventos, cuando se cumplen ciertas condiciones.” Y el trabajo del S7 1200 es activar el giro del motor cada determinado rango de tiempo. Siempre un giro de 30 grados para liberar aire a las mangas.



**Ilustración 5.** S7 1200 – SIEMENS

Fuente: (Siemens 2018)

### **3.8.1 Función del S7 1200**

"Los PLC son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas en la planta: al detectarse cambios en las señales, el autómatas reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salidas necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso." (Pabón, 2014)

Programado con TIA Portal el PLC ejecuta una serie de comando ingresados desde la pantalla (tiempos) para accionar cada elemento del sistema en una secuencia de funcionamiento. El PLC no solo controla el movimiento del motor paso a paso.

Como se ha planteado a lo largo del proyecto, la función principal del PLC es sustituir la tarjeta de control y realizar su mismo trabajo.

A continuación se presentan los componentes que van a ser controlados mediante el S7 1200:

- 1 HMI Simatic-TP900-COMFORT
- 3 Agitador
- 3 Electroválvula de inyectores
- 3 Drivers de motores paso a paso

## **3.9 Funcionamiento de la centralización**

Debido a políticas de privacidad por parte la empresa Molino Harinero de Sula para fines de este informe no se presentara la programación como tal, pero si una explicación con ciertos detalles sobre esta misma. De igual forma no se presentaran

imágenes de la instalación y puesta en marcha del proyecto ya que es terminantemente prohibido ingresar cámaras o teléfono celular a la planta de producción debido a las normas de inocuidad de la empresa. Esto se debe a que se corre el riesgo de vidrios rotos y de igual forma se sostiene una política de privacidad con respecto al proceso de producción.

“La solución de problemas se puede definir como el proceso de identificar una diferencia entre el estado actual de las cosas y el estado deseado y luego emprender acciones para reducir o eliminar la diferencia.” (David R Andersen, et al., 2011) En este caso lo que se busca es conseguir que un punto crítico de la producción se detenga por fallas durante largos lapsos de tiempo debido a mal funcionamiento de las tarjetas de control de los filtros.

### **3.9.1 Programación**

La ingeniería del software y control se centra en los pasos de planificación y diseño del programa. Para objetivos de la programación de este proyecto ya que se implementó un controlador de la marca SIEMENS, el programa a utilizar fue TIA PORTAL. Según Juan Carlos Anduckia Ávila (2009) “La investigación tiene valor agregado en la medida en que lo que se aprende es más que la simple suma de la información.”

Pensando en los operarios y en que la puesta en marcha del sistema no sea complicada se tomó la decisión de implementar una pantalla HMI donde directamente se introducen los tiempos de ejecución para cada filtro. Este programa es ejecutado a partir del momento en el que el operario acciona los interruptores de INICIO del sistema.

Para poder explicar la programación primero se muestra a continuación el orden en el que funciona cada elemento del filtro. Según Bolton (2002) “Existen diversas situaciones en las que el control se ejerce mediante elementos que se encienden y

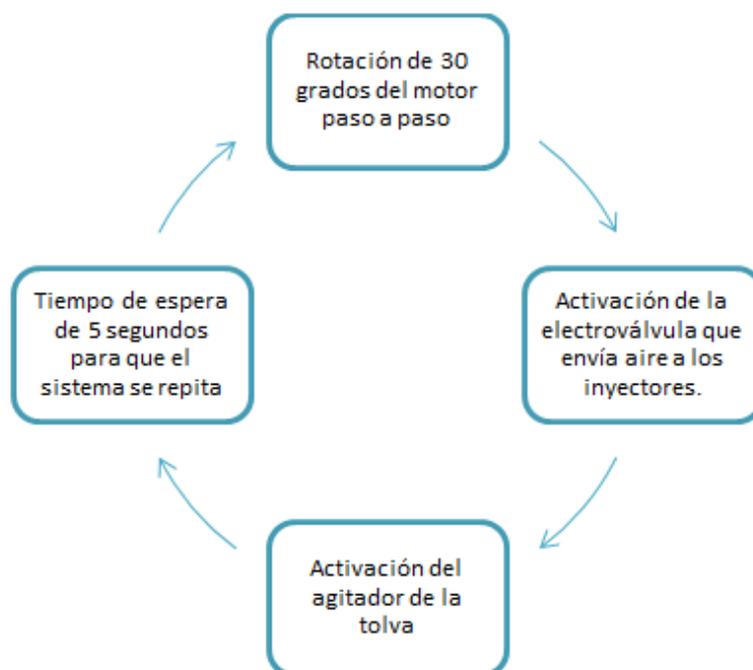
apagan a tiempos o valores fijos para controlar los procesos y producir una secuencia escalonada de operaciones.”

## Temporizadores

El temporizador es un elemento que permite poner cuentas de tiempo con el fin de activar bobinas pasado un cierto tiempo desde la activación. El esquema básico de un temporizador varía de un autómatas a otro, pero siempre podemos encontrar una serie de señales fundamentales, aunque, eso sí, con nomenclaturas totalmente distintas.

Como se observó en la sección 3.6, estos tiempos son la parte crucial de la programación ya que lo que se busca es poder controlar estos tiempos desde una pantalla.

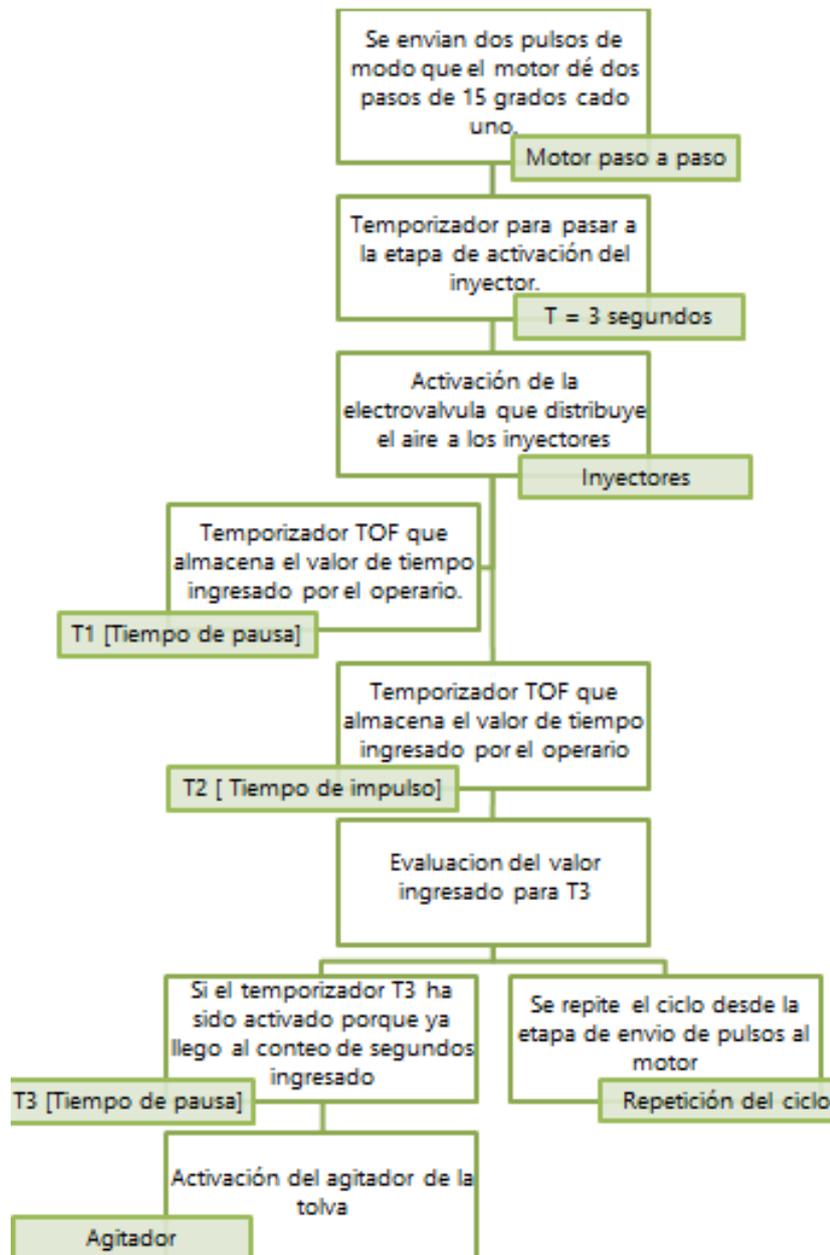
Cabe recalcar que como se muestra en la ilustración 6, en ese orden se ejecuta cada uno dentro de la programación siendo los tiempos de ejecución lo único variable.



**Ilustración 6.** Orden de funcionamiento de los componentes centrales del sistema

Fuente: (Elaboración propia)

“El uso de filtros se ha vuelto una necesidad según ha crecido la industria a lo largo del tiempo”(Stehle G., 2006). Esta necesidad hace que sea imprescindible el buen funcionamiento de ellos. Siguiendo la base de los tiempos (Explicados en la sección 3.6) con los que trabaja la tarjeta de control se programó el controlador respetando las mismas ecuaciones y parámetros. A continuación en la ilustración 7 se muestra la lógica detrás de la programación de los filtros.



**Ilustración 7.** Diagrama de funcionamiento de programación

Fuente: (Elaboración propia)

“Para el ingeniero en control un proceso es un sistema técnico o de cualquier otra área que tenga cambios de estado de acuerdo con condiciones dadas.” (Rina Navarro, 2004) Como se puede ver, toda la programación va en torno a los tiempos.

### **3.9.2 HMI**

El principal objetivo de una interfaz de usuario es que este pueda comunicar información a través de ella hacia algún tipo de dispositivo o sistema. Conseguida esta comunicación, el siguiente objetivo es el que dicha comunicación se desarrolle de la forma más fácil y cómoda posible para las características del usuario que utiliza el servicio.

La interfaz de usuario es el medio con que el usuario (en este caso el operario) puede comunicarse con el equipo y comprende todos los puntos de contacto entre el y el equipo. Normalmente suelen ser fáciles de entender y fáciles de accionar.

Mediante un HMI (siempre de la marca SIEMNES) se crea la interfaz de establecimiento de tiempos con el cual operario puede interactuar. El objetivo es que el operario pueda ingresar los tiempos, planteados en la sección 3.6, de forma manual.

Dentro de esta pantalla se contienen nueve casillas con descripción y etiqueta donde tres casillas son para cada filtro. También hay una etiqueta que identifica el filtro y las casillas de dicho filtro. Se muestra un ejemplo a continuación en la ilustración 8.



**Ilustración 8.** Ejemplo de interfaz de la HMI

Fuente: (Elaboración propia)

### 3.9.3 Profibus

Para este proyecto se implementó una red de comunicación profibus. Esta red es un estándar de campo abierto e independiente de proveedores. Su interfaz permite a los usuarios un sinnúmero de aplicaciones en procesos automatizados.

Si se necesita utilizar impulsores (drivers), transductores, válvulas y paneles de operación a nivel de campo y con una comunicación en tiempo real, la elección debería ser PROFIBUS. La transmisión de datos del proceso que se realizan de una manera cíclica. Mientras que las alarmas, parámetros y/o diagnósticos se transmiten de forma cíclica.

PROFIBUS DP se caracteriza principalmente por su alta velocidad. Por sus características son muy usados en sistemas de control con tiempo crítico. Están destinados principalmente para una comunicación entre sistemas de automatización y equipos descentralizados. Se utilizan para sustituir los típicos sistemas de 4 a 20

mA con transmisiones de 23 Volts. Suelen requerir menos de 2ms para transmitir 1 kilobyte de entrada y salida.

### **3.10 Materiales y equipo**

Para este proyecto se hicieron varias cotizaciones con diferentes proveedores, de los cuales solo uno pudo brindar los drivers que se necesitaban de los motores paso a paso. En total por todos los equipos que se implementaron se hace una suma aproximada de casi cincuenta mil lempiras (L. 50,000).

Obviamente para una empresa como Molino Harinero de Sula que produce toneladas de harina al día, un precio como este para una implementación, no se mira como un gasto sino como una inversión. Según Heinz (2002) "Podemos descuidar cualquier cosa en el proceso, menos la calidad de nuestro producto." Y como ya sea explicado anteriormente en cuestión de producción de alimentos la calidad lo es todo.

A continuación se presenta una lista de todos los materiales y equipo utilizados para el montaje de este proyecto.

- 1 SIMATIC S7-1200,
- 1 CPU 1214c cpu compacta, dc/dc/dc, e/s integradas: 14 di 24v dc; 10 do 24 v dc
- 1 Relé electromecánico OMRON negro g2rv con base 24vdc 5 laines
- 1 Fuente de poder OMRON 240w 24vdc 10a 100-240vac
- 1 HMI Simatic-TP900-COMFORT
- 3 Stepper Motor Drivers
- Cable de comunicación profibus
- Accesorios para instalación

## **IV. Metodología**

### **4.1 Hipótesis**

La centralización de los tres filtros puede producir más pérdidas en producción al momento de ocurrir un fallo.

### **4.2 Variables de investigación**

En el caso de este proyecto la variable con la que se trabaja en todo momento es el tiempo. Tiempos de paro, tiempos de activación, tiempos de carga, tiempo de liberación de aire, y puedes ver que siempre lo que se busca es el buen funcionamiento del sistema y así evitar un número muy elevado en pérdidas de producción.

#### **4.2.1 Variables independientes**

- El tiempo que tarda el compresor en cargar y liberar el aire a las mangas dentro de los filtros.

#### **4.2.2 Variables dependientes**

- El tiempo de paro del sistema durante un fallo. Que no sea tan prolongado como con las tarjetas de control que al fallar, reemplazarlas toma un estimado de uno a tres meses.
- Tiempo de activación del motor paso a paso cada vez que el compresor ya esté listo para hacer la descarga de aire para los tres filtros.
- Tiempo de activación del agitador de la tolva.

### **4.3 Enfoque y métodos**

En una investigación hay que tener clara la metodología a seguir y el enfoque que se le dará. Dentro de la metodología haremos uso de la técnica definida. Otro punto muy importante es el enfoque que se le desea dar al proyecto.

Se pueden tener dos tipos de enfoque, el cualitativo y el cuantitativo. En caso de ser ambas, se considera un enfoque mixto y para este proyecto el enfoque fue mixto.

#### **4.3.1 Enfoque cuantitativo**

Dentro de este enfoque encontramos la cantidad de paros de producción que se han dado a lo largo del tiempo y las pérdidas, que estos vienen siendo la razón por la cual se desarrolla este proyecto.

El costo de reparación de la tarjeta de control no fue elevado debido a que se contaba con repuestos de los componentes de ella que se averiaron. En caso de que no tener estos repuestos el reemplazo total de la tarjeta hubiera sido necesario.

#### **4.3.2 Enfoque cualitativo**

Aquí nos enfocamos en la facilidad que tendrán los técnicos a la hora de haber un fallo en el sistema y tener que solucionarlo. Ya solo existirían las posibilidades del daño del PLC o fallo en la comunicación de algún componente integrado al sistema de control. Y de ser algo muy fatal como cambiar de PLC por daño, igual es algo que se puede solucionar de forma inmediata ya que es un equipo que se puede conseguir de forma local.

#### **4.4 Población y muestra**

La población y muestras de este proyecto fueron extraídas del proceso de producción del molino cinco de la planta de Molino Harinero de Sula. De productos de trigo duro, de aquellas harinas fuertes que se empacan para su venta y distribución.

Para efectos de análisis se tomó como muestra los productos de La Rosa y El Gallo de una libra y cinco libras que se producen dentro de este molino.

#### **4.5 Técnicas e instrumentos aplicados**

Se realizaron entrevistas a los técnicos encargados de dar mantenimiento a los filtros, al jefe de planta de molino cinco y al jefe encargado del departamento de electrónica que se encarga de solucionar los problemas de fallos en los sistemas.

Mediante las entrevistas al preguntar constantemente desde el día uno sobre todos los aspectos del proyecto, esto permitió comprender con una mayor facilidad el proceso y el enfoque del proyecto; el alcance y los objetivos principales por los cuales se quería hacer la implementación de un PLC a cambio de las tarjetas de control.

#### **4.6 Fuentes de información**

Estas fuentes son todos aquellos diversos tipos de documentos que se consultaron y fueron útiles para brindar información para cumplir con nuestra necesidad de datos. Es importante lograr distinguir aquellas fuentes que fueron indispensables para el desarrollo del proyecto.

Fuentes utilizadas:

- Manuales de equipos Siemens como ser el PLC S7 1200 y sus componentes.
- Información brindada por ingenieros de planta y encargados.
- Información y datos brindados por técnicos del área de eléctrica y electrónica.
- Libros sobre control digital
- Registros de producción de la empresa

#### 4.6 Cronograma de actividades

**Tabla 4.** Cronograma de actividades

Actividad	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inducción a la planta	■									
Estudio del sistema de filtrado	■	■								
Entrevista verbal con ingenieros		■	■							
Desarrollo de logística de la centralización			■	■	■	■				
Contactar un proveedor local					■	■	■			
Asesoría por parte del proveedor							■	■		
Instalación del PLC								■	■	
Toma de datos								■	■	
Corrección de errores de programación								■	■	
Retroalimentación de técnicos e ingenieros								■	■	

Fuente: (Elaboración propia)

## V. Resultados y análisis

### 5.1 Funcionamiento correcto después de la instalación

Finalizada la instalación, se hicieron varias pruebas para verificar el buen funcionamiento de la programación y respuesta de los equipos. Seguido de esto se pasó a la fase de la toma de datos.

Durante las pruebas de comunicación se encontraron fallas en la programación. Se hicieron cambios y al final se logró el buen funcionamiento de los filtros. En la tabla 5 se muestra los datos de las pruebas realizadas.

**Tabla 5.** Pruebas de funcionamiento

Día	Prueba		Tipo de falla
Día 1	Conexión	X	La electroválvula del agitador estaba mal direccionada
	Programación	X	Fallo en la activación del motor
Día 2	Conexión		Ninguna
	Programación	X	Fallo de uno de los temporizadores [T1]
Día 3	Conexión		Ninguna
	Comunicación		Ninguna
	Programación		Ninguna

Fuente: (Elaboración propia)

Estas pruebas se realizaron en tres días que fueron programados como paros para poder hacer la instalación de equipos y hacer las pruebas de funcionamiento. Después del lapso de los tres días el sistema completo ya pudo ser puesto en funcionamiento y no presento problema alguno.

## 5.2 Toma de datos

Los filtros de molino cinco no siempre están en funcionamiento y esto se debe a que muchas veces se necesita darles mantenimientos programados o simplemente está programado solo para que los otros tres molinos estén en funcionamiento. Cabe recalcar que cualquier molino puede tener un paro programado y que solo los otros tres molinos trabajen; no necesariamente solo el molino cinco.

Lo normal es que de un 100% cada molino trabaje un 80% de cada mes. El otro 20% es de cuando no están funcionamiento por limpieza; mantenimiento de cualquier área del molino.

La toma de datos se realizó sin necesidad de instrumentación o equipo ya que lo único que necesitamos saber es si el molino estuvo en funcionamiento y si estuvo detenido. De estar detenido, ver si fue por falla de los filtros. De ser una falla de los filtros tomar nota de la razón por la que este falló.

Agosto 2018

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13 ✓	14 ✓	15 ✗	16 ✗	17 ✗	18	19
20 ✓	21 ✓	22 ✓	23 ✓	24 ✓	25	26
27 ✓	28 ✗	29 ✗	30 ✗	31 ✗		

**Ilustración 9.** Días de funcionamiento del mes de agosto

Fuente: (Elaboración propia)

## Septiembre 2018

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
					1	2
3 ✓	4 ✓	5 ✓	6 ✗	7 ✓	8	9
10 ✓	11 ✓	12 ✓	13 ✗	14 ✗	15	16
17 ✓	18 ✓	19 ✓	20 ✓	21 ✓	22	23
24 ✓	25 ✓	26 ✓	27 ✓	28 ✓	29	30

**Ilustración 10.** Días de funcionamiento del mes de septiembre

Fuente: (Elaboración propia)

Como se puede observar en los calendarios (ilustraciones 9 y 10) de los meses de agosto y septiembre, el tiempo que ha estado en funcionamiento el molino cinco, ha sido mínimo. Esto se puede traducir en pérdidas al no ser paros programados por los ingenieros de planta.

Durante el transcurso de esos meses se tomó nota del tipo de falla que ocurría o si era un paro por mantenimiento. Como sabemos, todo equipo y maquinaria requiere de un plan de mantenimiento para un buen funcionamiento. Estos mantenimientos van desde limpieza de las cernidoras, bancos de molienda y hasta los filtros. Estos mantenimientos requieren de un desmontaje del equipo y remoción de cualquier resto de harina o polvo. Recordemos que en una empresa como Molino Harinero de Sula con una certificación en inocuidad, es vital realizar estos tipos de mantenimiento rigurosos. Para efectos de estudio en esta sección siendo ya planteado los días que no trabajó el molino cinco, a continuación se presenta una tabla con el día y la razón por la cual no trabajó el molino cinco.

### 5.2.1 Mes de agosto

**Tabla 5.** Días del mes de agosto que molino 5 no trabajó

Día	Tipo	Detalles
15	Mantenimiento	Limpieza de las mangas de los filtros
16	Mantenimiento	Limpieza de las mangas de los filtros
17	Paro Programado	Molino 5 no trabajo ese día
28	Falla	Motor quemado de la compuerta de la bascula
29	Falla	Báscula de entrega mal calibrada
30	Falla	Fallo de comunicación entre la báscula y el controlador
31	Paro Programado	Molino 5 no trabajo ese día

Fuente: (Elaboración propia)

### 5.2.2 Mes de septiembre

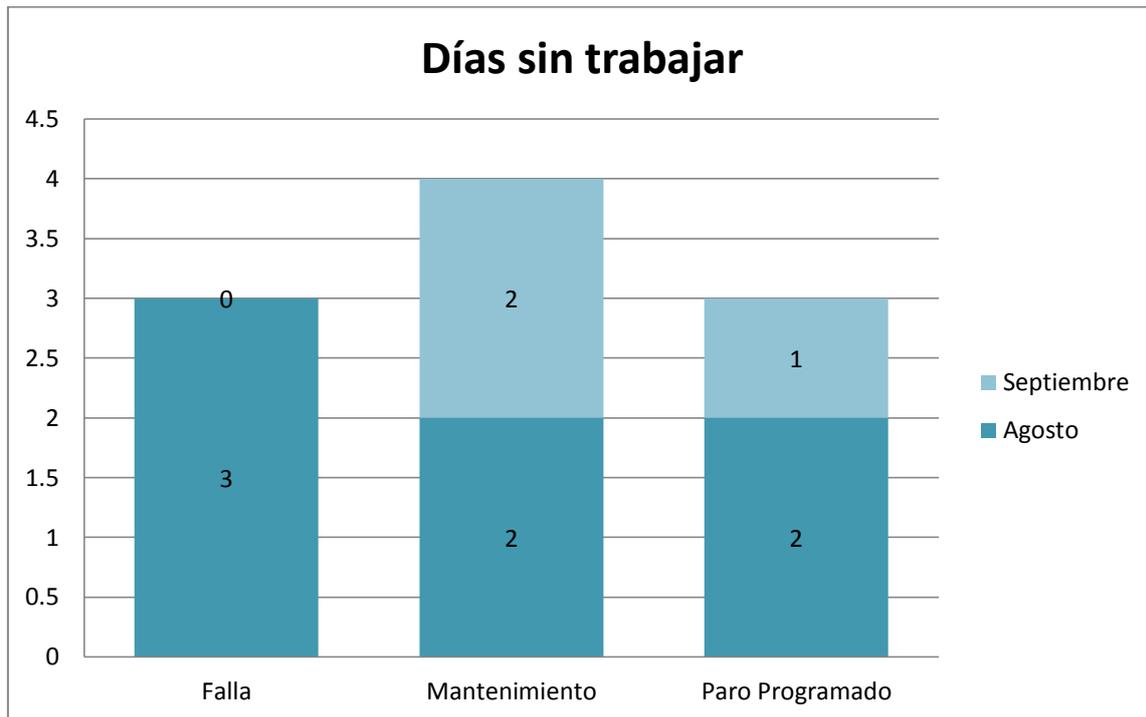
**Tabla 6.** Días del mes de agosto que molino 5 no trabajó

Día	Tipo	Detalles
6	Paro programado	Molino 5 no trabajó ese día
13	Mantenimiento	Limpieza de los bancos de molienda
14	Mantenimiento	Limpieza de los bancos de molienda

Fuente: (Elaboración propia)

En la gráfica (tabla 7) que se presenta a continuación se hace una comparativa de los días sin trabajar del molino cinco en los meses de agosto y septiembre (tablas 5 y 6) que se plantearon previamente.

**Tabla 7.** Comparación de los meses de agosto y septiembre



Fuente: (Elaboración propia)

### 5.3 Producción de Harina A

Dentro del molino cinco se realizan varios procesos. Entre ellos se encuentre la separación de trigo sucio y trigo limpio, producción de harina A y subproducto. Estos subproductos son el afrecho y el salvado pero en esta sección nos vamos a concentrar en estudiar solo la producción de harina A.

Esta harina tipo A hace referencia a todas las harinas que terminan siendo empacadas con los nombres de Harina El Gallo, La Rosa y El Panadero. Cada vez que el molino cinco es puesto en marcha se produce cierta cantidad de kilogramos (kg) al mes, dependiendo de la cantidad de días que este trabaje.

A continuación en la tabla 8 se muestra el porcentaje de trabajo que realizo molino cinco en los meses de marzo hasta agosto.

**Tabla 8.** Porcentaje de trabajo de marzo a agosto

	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>
% Trabajo	60%	49%	63%	30%	75%	25%
Días del mes	31	30	31	30	31	31
Días trabajados	18,6	14,7	19,53	9	23,25	7,75

Fuente: (Resumen molienda, Molino Harinero Sula)

En la tabla 8 los decimales dentro de los días trabajados se interpretan como horas de trabajo. Muchas veces horas de trabajo antes de que ocurriera una falla.

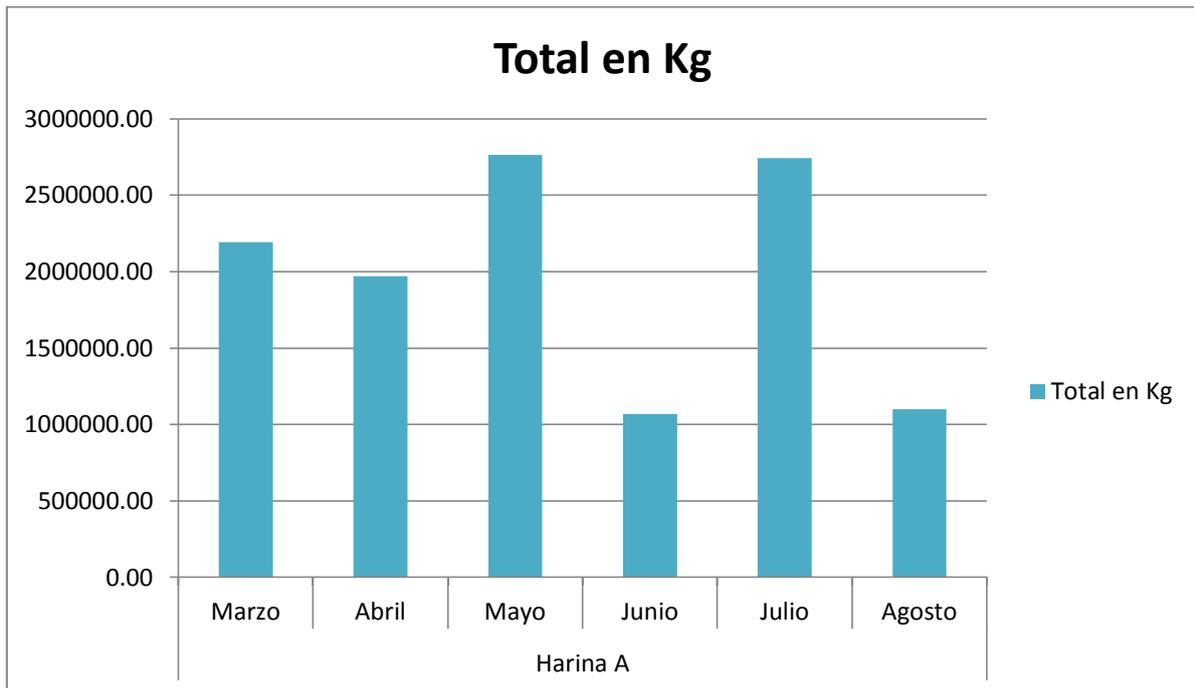
Una vez que se han analizado los porcentajes de trabajo podemos pasar a la siguiente etapa del análisis de datos. Esta es la producción de harina A en kilogramos para los meses de marzo a agosto y a continuación en las tablas 9 y 10 se muestran los datos de producción.

**Tabla 9.** Total en kilogramos producidos de marzo a agosto

	Harina A		
	Marzo	Abril	Mayo
Total en Kg	2192574.15	1970160.44	2763291.30
	Harina A		
	Junio	Julio	Agosto
Total en Kg	1067917.18	2744398.08	1100177.50

Fuente: (Resumen molienda, Molino Harinero Sula)

**Tabla 10.** Gráfica de producción en kilogramos mensual



Fuente: (Elaboración propia)

#### 5.4 Análisis

Para este análisis se tomaron en cuenta dos harinas; La Rosa y El Gallo tomando como muestra los empaques de una libra y cinco libras de estas mismas. Tomando en cuenta el precio de producción de estas harinas se plantearán un aproximado en pérdidas monetarias (de esta muestra) por cada fallo que ocurre dentro del molino cinco. Estas fallas al durar no solo horas, sino que a veces días, repercuten en la producción de estos productos traduciéndose en fallas.

A continuación en la tabla 11 se presentan los precios de los productos de una libra y cinco libras de harinas El Gallo y La Rosa.

**Tabla 11.** Precios de venta a clientes; de harinas El Gallo y La Rosa

	<b>Producto</b>	<b>1 lb</b>	<b>5 lb</b>
<b>Precio (en Lps.)</b>	La Rosa	5.5	25
	El Gallo	5.5	25

Fuente: (Producción, Molino Harinero Sula)

En breve en la tabla 12 se muestra el porcentaje del total en kilogramos de harina de producción para los meses desde marzo hasta agosto.

**Tabla 12.** Total de producción de harina (en kg) El Gallo y La Rosa, mensual

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Producción	9%	5%	10%	2%	10%	3%
Total en Kg	2192574.15	1970160.44	2763291.30	1067917.18	2744398.08	1100177.50
Total Producción	197331.674	98508.022	276329.13	21358.3436	274439.808	33005.325

Fuente: (Elaboración propia)

Tomando los datos de total de producto generado (en kilogramos, tabla 9) para cada mes planteado y tomando en cuenta los precios de producción de la muestra (tabla 11), podemos calcular cuánto se genera de ingreso por producción para harinas de 1 libra y 5 libras. Para esto, se hace una conversión del total de producción de kilogramos a libras (multiplicando el valor por 2.205)

En las tablas a continuación (tablas 13 y 14) se presenta el ingreso monetario en base al porcentaje de producción en libras para cada mes dependiendo del coste de producción por unidad.

**Tabla 13.** Ingreso por producción de marzo a mayo

	Marzo	Abril	Mayo
Total Producción en libra	435,116.3	217,210.2	609,305.7
<b>1 lb (5.5 Lps)</b>			
Ingreso de producción	2,393,140	1,194,656	3,351,182
<b>5 lb (25 Lps)</b>			
Ingreso de producción	10,877,909	5,430,255	15,232,643

Fuente: (Elaboración propia)

**Tabla 14.** Ingreso por producción de abril a agosto

	Junio	Julio	Agosto
Total Producción en libra	47,095.15	605,139.8	72,776.74
<b>1 lb (5.5 Lps)</b>			
Ingreso de producción	259,023.3	3,328,269	400,272.1
<b>5 lb (25 Lps)</b>			
Ingreso de producción	1,177,379	15,128,494	1,819,419

Fuente: (Elaboración propia)

Los valores presentados en la tabla 13 y 14 son los resultados de los porcentajes de trabajo que tuvo el molino cinco para cada uno de esos meses, solo para los productos de La Rosa y El Gallo de 1 y 5 libras. En breve pasaremos a hacer el cálculo de pérdidas en base al porcentaje de trabajo que no realizo molino cinco para los mismos meses.

Dentro de los parámetros para el trabajo de producción que realiza molino cinco, el porcentaje de trabajo mayor que puede obtenerse es de un 85% en caso de que no haya ninguna falla. El porcentaje restante se debe a que no realiza operaciones durante los fines de semana, los días de descanso mejor conocidos como paros programados y los días de mantenimiento general del molino.

**Tabla 15.** Calculo de trabajo no realizado en base a un 85%

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
% Trabajo realizado	60	49	63	30	75	25
% trabajo perdido	25	36	22	55	10	60

Fuente: (Elaboración propia)

Molino cinco es el molino que más harina tipo A produce. Este molino es que distribuye la mayor cantidad de harina para las ensacadoras. Como podemos ver en la tabla 15, si con un porcentaje mínimo de trabajo realizado se producen hasta 73,000 libras de harina A solo para producto de La Rosa y El Gallo.

## 5.5 Resultados

Con la implementación de un S7 1200 lo que se busca es que las cifras de pérdidas monetarias por fallas de los filtros desciendan a una cantidad máxima. Muchas veces estos fallos estuvieron relacionados con un desajuste entre los tiempos de descarga de aire a las mangas y el tiempo de carga del compresor. Por los momentos la tarjetas de control no fallaron pero si presentaron muchas veces problemas con la sincronización entre el compresor y el filtro.

A continuación en la tabla 16 se presenta un análisis financiero de cuanto pierde en producción de harina A y representado en pérdidas por fallos de los filtros. Y siempre tomando la muestra de producción de 5 libras de ya sea producto La Rosa o El Gallo.

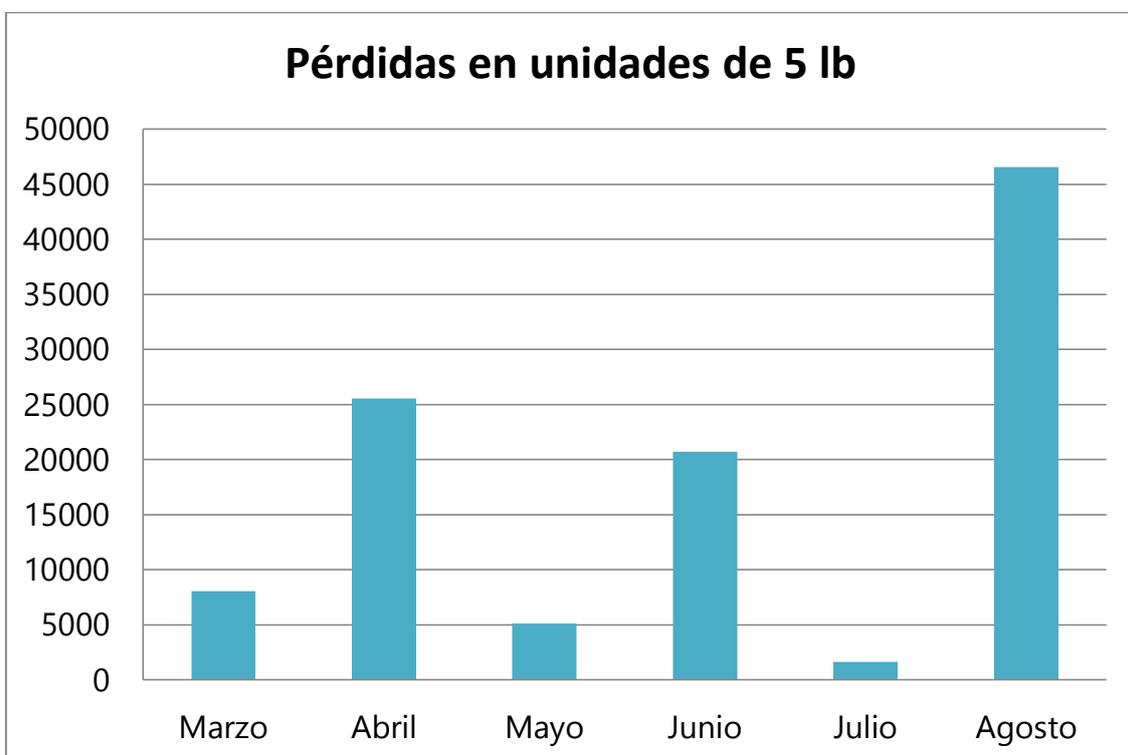
**Tabla 16.** Análisis de pérdidas en unidades de 5 libras

	<b>Harina A</b>					
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Total en Kg	2192574.2	1970160.4	2763291.3	1067917.2	2744398.1	1100177.5
% Trabajo	60	49	63	30	75	25
% trabajo perdido	25	36	22	55	10	60
Total pérdidas de producción en kg	913572.56	1447464.81	964958.87	1957848.2	365919.74	2640426
Total pérdidas de producción en lb	2014427.5	3191659.91	2127734.3	4317055.2	806853.04	5822139.3
% pérdidas por fallas de los filtros	10%	4%	6%	12%	5%	20%
Total pérdidas de producción en lb	201442.75	127666.397	127664.06	518046.62	40342.652	1164427.9
<b>1 libra (5.5 Lps)</b>						
Pérdidas de producción en Lps	1107935.1	702165.181	702152.32	2849256.4	221884.58	6404353.3
<b>5 libras (25 Lps)</b>						
Pérdidas de producción en Lps	5036068.8	3191659.91	3191601.5	12951166	1008566.3	29110697
<b>5 lb</b>						
Unidades	8057.71	25533.2793	5106.5623	20721.865	1613.7061	46577.115

Fuente: (Elaboración propia)

Como pudimos observar en el análisis, con la implementación del plc para centralizar los tres filtros y tener un mejor control de los tiempos y que en caso de una falla las pérdidas en producción no excedan del 2% (del porcentaje de fallas de los filtros) para cualquier porcentaje de producción. En la tabla 17 podemos observar los porcentajes en pérdidas para unidades de cinco libras para los meses de marzo hasta agosto del 2018.

**Tabla 17.** Gráfico de pérdidas en unidades de 5 lb



Fuente: (Elaboración propia)

Después de que el equipo fue instalado y puesto en marcha, durante dos semanas se tomó nota de su funcionamiento y no presentó falla alguna. La instalación y las pruebas se realizaron de forma paralela a un mantenimiento y limpieza programados de los tres filtros. El mismo día que se realizó la instalación, se hicieron las primeras pruebas de funcionamiento. El segundo día se hicieron las últimas pruebas y arreglos de modo que al tercer día que todo el molino fue puesto en marcha, los filtros con su programación ya estaban en funcionamiento.

## **5.6 Costos de inversión**

Los costos de inversión, corresponden a aquellos que se incurren en la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento, ponerlo en marcha. Para decirlo de una forma sencilla son todos aquellos costos que se dan desde la concepción de la idea que da origen al proyecto hasta poco antes de la producción del primer producto o servicio.

Como se mencionó al inicio de este informe, las tarjetas de control de los filtros tienen un costo aproximado de Lps. 19,000 cada uno. Que en caso de una falla estas solo pueden ser reemplazadas si se compran a OCRIM y tardarían de uno a tres meses en llegar a nuestro país.

El costo de inversión para la puesta en marcha de este proyecto fue de Lps. 45,000, siendo una mejora ya que todos los componentes de este se encuentran de forma local con proveedores de la misma empresa.

En caso de una falla reemplazar un PLC o cualquier componente de este sistema no sería difícil ya que todo se puede encontrar de forma local.

## VI. Conclusiones

Como dice Steren (2008) "La mecatrónica toma la oportunidad de analizar y resolver los problemas de automatización desde una perspectiva diferente integral. Donde los ingenieros no se deben limitar a considerar únicamente la solución desde el punto de vista de su especialidad sino en el contexto de una gama de tecnologías."

- A través de los datos recopilados se realizó un análisis de pérdidas en producción por fallos de los filtros, para el año 2018, tomando como muestra los meses desde marzo hasta agosto.
- Con la centralización de los tres filtros se consigue una mejora en el rendimiento de proceso de producción. Sin embargo, se pudo observar que el fallo de los filtros es mínimo ya que molino cinco se ve afectado también por fallos en otras áreas como molienda y cernido.
- Según el análisis de los datos de pérdidas generadas por fallas en los filtros, al realizar la centralización con el PLC se reduce el porcentaje de pérdidas a un valor mínimo.

## **VII. Recomendaciones**

### **Para la empresa**

- Tener manuales actualizados de los equipos, en especial de los equipos críticos. Ya que los filtros de molino 5 no tenían un manual ni datos del equipo actual, lo cual provocó retrasos en el avance del proyecto.
- Poseer más de una computadora con el TIA PORTAL instalado y los simuladores, para poder trabajar de una manera más rápida en caso una esté ocupada o en mal estado.
- Evitar llenar el departamento de eléctrica y electrónica de practicantes, ya que el trabajo se distribuye tanto que a veces se termina estorbando.
- Tener contacto directo y permanente con los distribuidores. Se tuvo un atraso en el avance del proyecto debido a que los distribuidores de un equipo tardaron 2 semanas en llegar a la empresa.

### **Para la universidad**

- Enseñar el método de programación en PLC de GRAFCET. Facilita en gran medida el desarrollo de los proyectos que se realicen en PLC ya que sigue una estructura clara.
- Tener una segunda clase totalmente enfocada a PLC antes de llevar redes industriales. Así afianzar todos los conocimientos que nos servirán ya en un ámbito industrial.
- Tener alguna clase enfocada a instalaciones eléctricas y seguridad industrial.

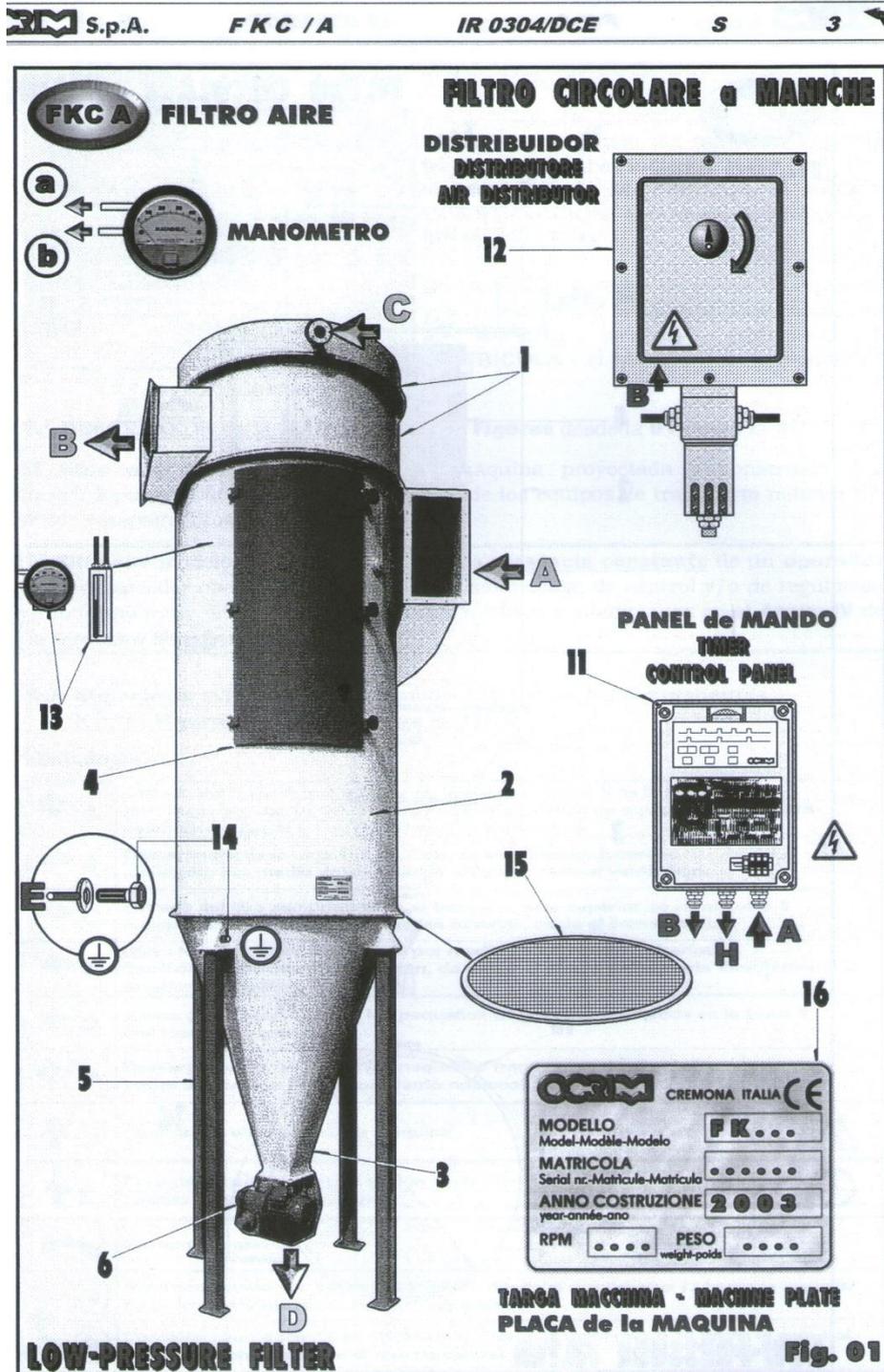
## VIII. Bibliografía

1. F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz (2008). *Fundamentals de la technical de automatization*
2. Oceano Uno (2001). *Enciclopedia Oceano Uno*
3. Besterfield (2009). *Control de calidad 8ª edición*
4. Project management (2004). *Fundamentos para la dirección de proyectos 4ª edición*
5. Niebel (2002). *Ingeniería industrial 9ª edición*
6. Cristina Abril Sánchez (2012). *Guía para la integración de sistemas de gestión 2ª edición*
7. Unda Opaza (2002). *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública 1ª edición*
8. Lluís Cuatrecasas Arbós (2011). *Organización de la producción y dirección de operaciones 1ª edición*
9. Edward V. Krick (2004). *Ingeniería de métodos 1ª edición*
10. Katsushiko Ogata (2003). *Ingeniería de control moderna 4ª edición*
11. Timothy J. Maloney (2006). *Electrónica industrial moderna 5ª edición*
12. W. Bolt (2013). *Mecatronica sistema de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica 5ª edición*
13. Antonio Creus Solé (2007).
14. Robert C. Rosaler (2000). *Manual del ingeniero de planta 3ª edición*
15. Fernando Reyes Cortes, Jaime Cid Monjaraz y Emilio Vargas Soto (2013). *Mecatrónica control y automatización 1ª edición*
16. Richard C Dorf y Robert H Bishop (2005). *Sistemas de control moderno 10ª edición*
17. Musa Jouaneh (2017). *Fundamentos de Mecatronica 2ª edición*
18. Pabón (2014). *Diseño de maquinaria para harina preparada*

19. David R Andersen, Dennis J Sweeney, Thomas A Williams, Jeffrey D Camm, Kipp Martin (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios 11ª edición*
20. Juan Carlos Anduckia Ávila (2009). *La investigación aproximaciones a la construcción del conocimiento científico 1ª edición*
21. Stehle G. (2006). *Verpacken von Lebensmitteln. Berlin.*
22. Bolton (2002). *Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica*
23. Rina Navarro (2004). *Ingeniería de control analógica y digital*
24. Heinz (2002). *Wege aus dem Validierungdschungel. Frankfurt.*
25. Creu Solé (2007). *Neumática e hidráulica*
26. Steren (2008). *El ABC de la Mecatronica*

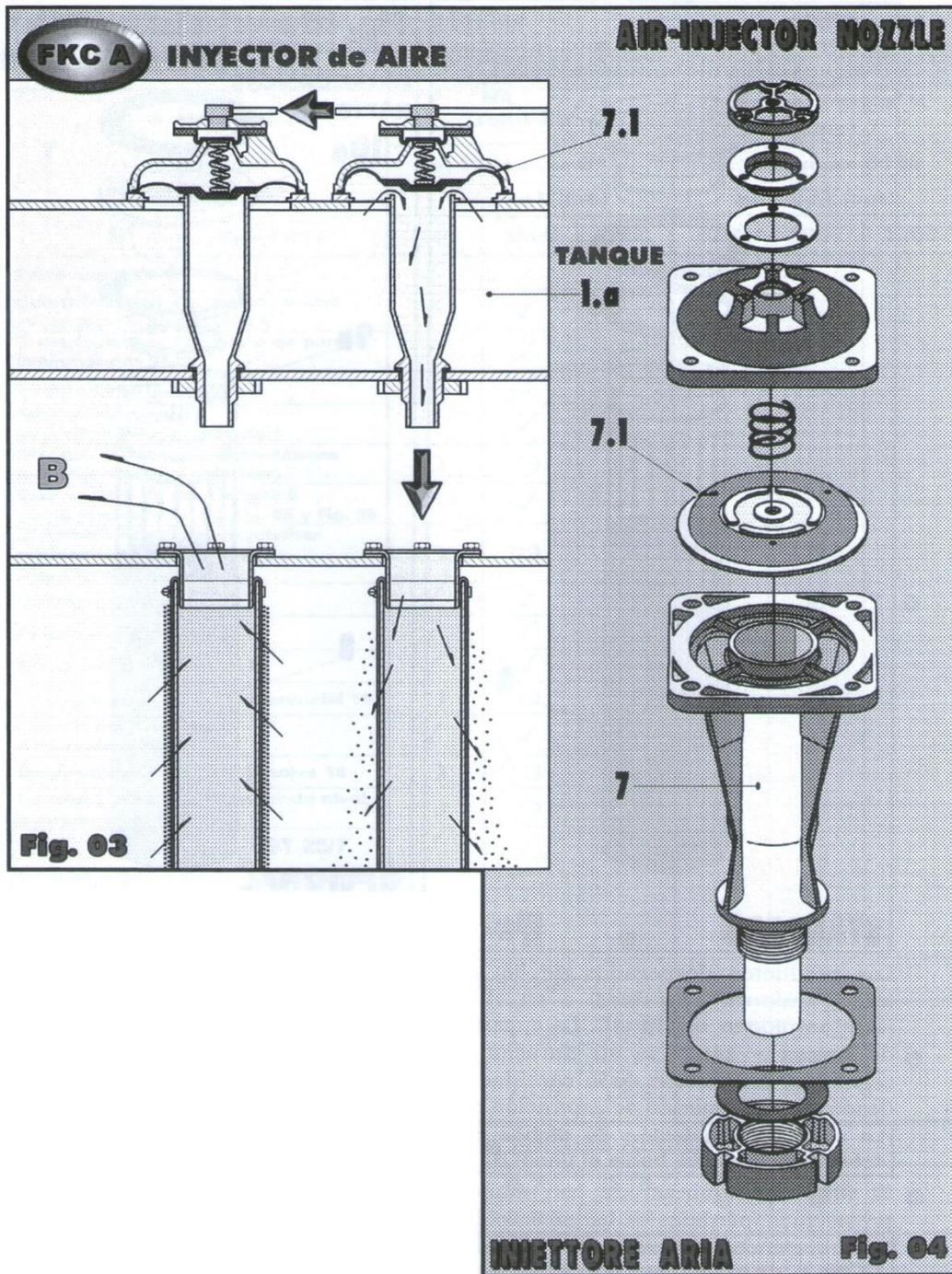
## IX. Anexos

### Anexo I. Filtro FKC/A



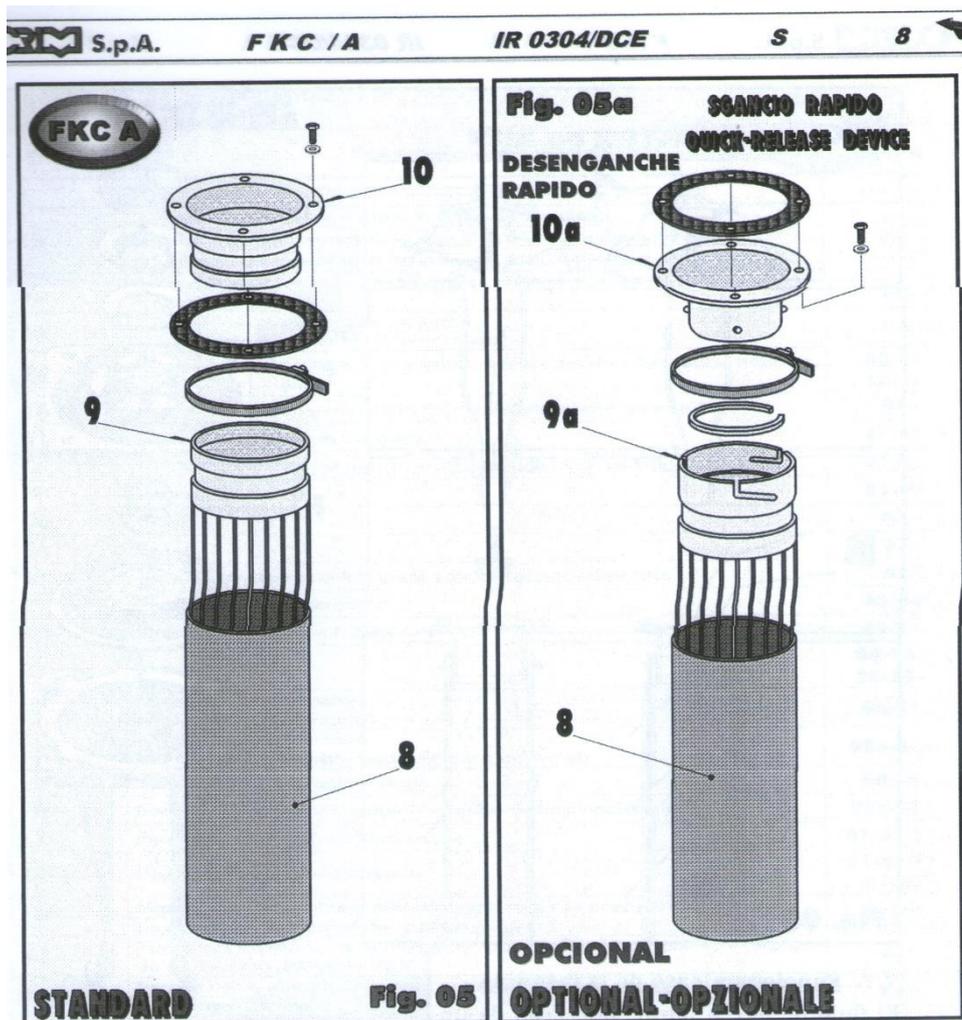
Fuente: (Manual de uso y mantenimiento, OCRIM)

## Anexo II. Inyector de aire a baja presión



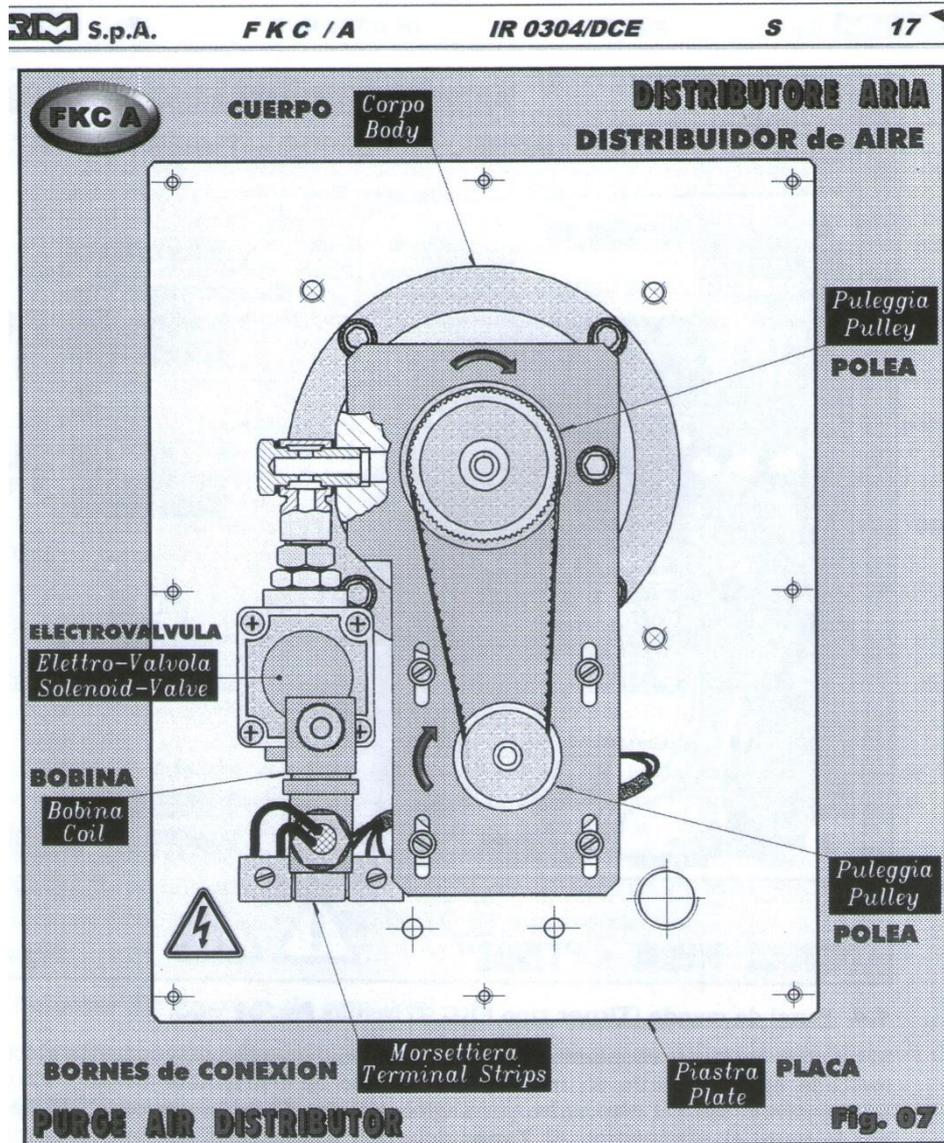
Fuente: (Manual de uso y mantenimiento, OCRIM)

### Anexo III. Sistema de mangas filtrantes

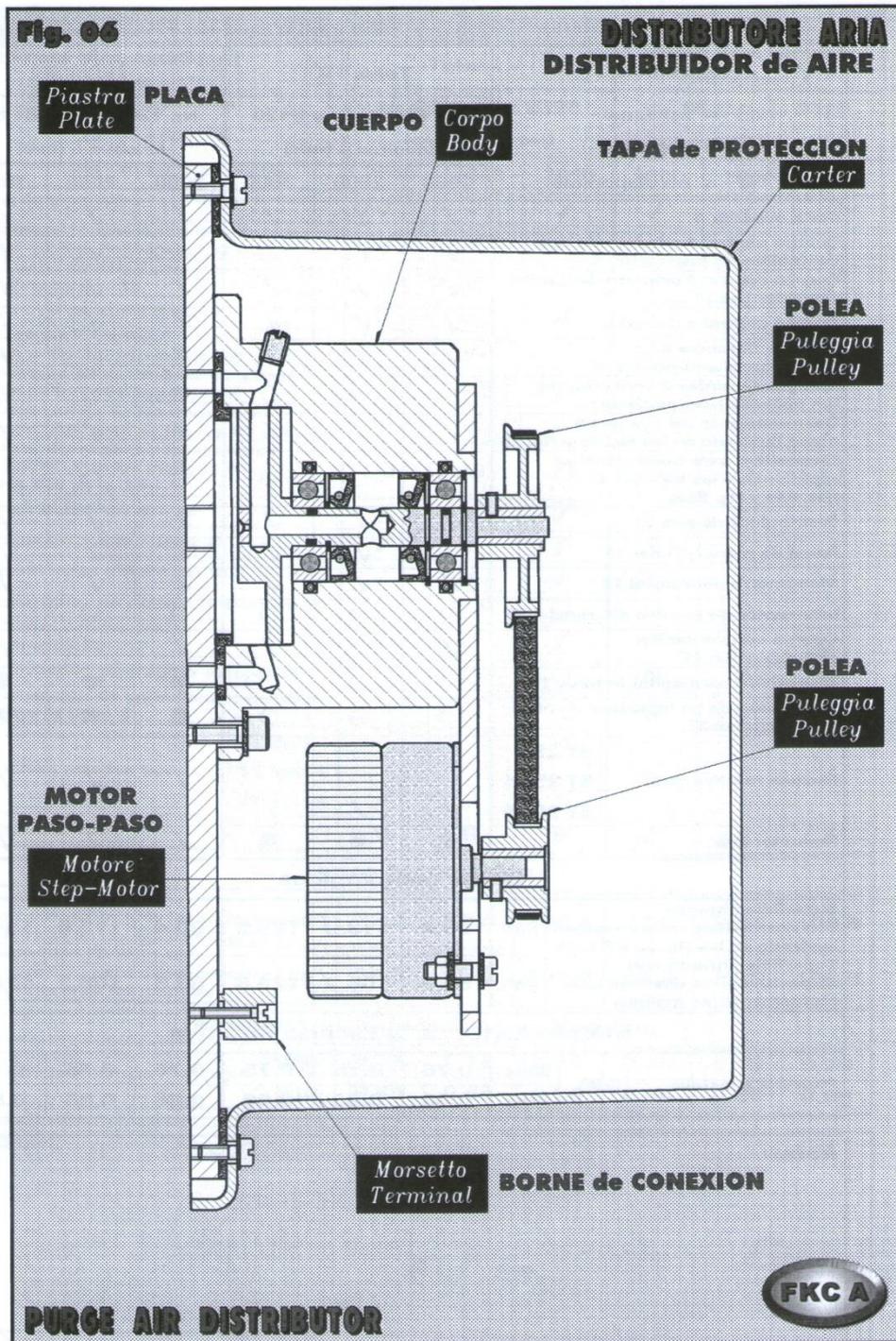


Fuente: (Manual de uso y mantenimiento, OCRIM)

## Anexo IV. Distribuidor de aire

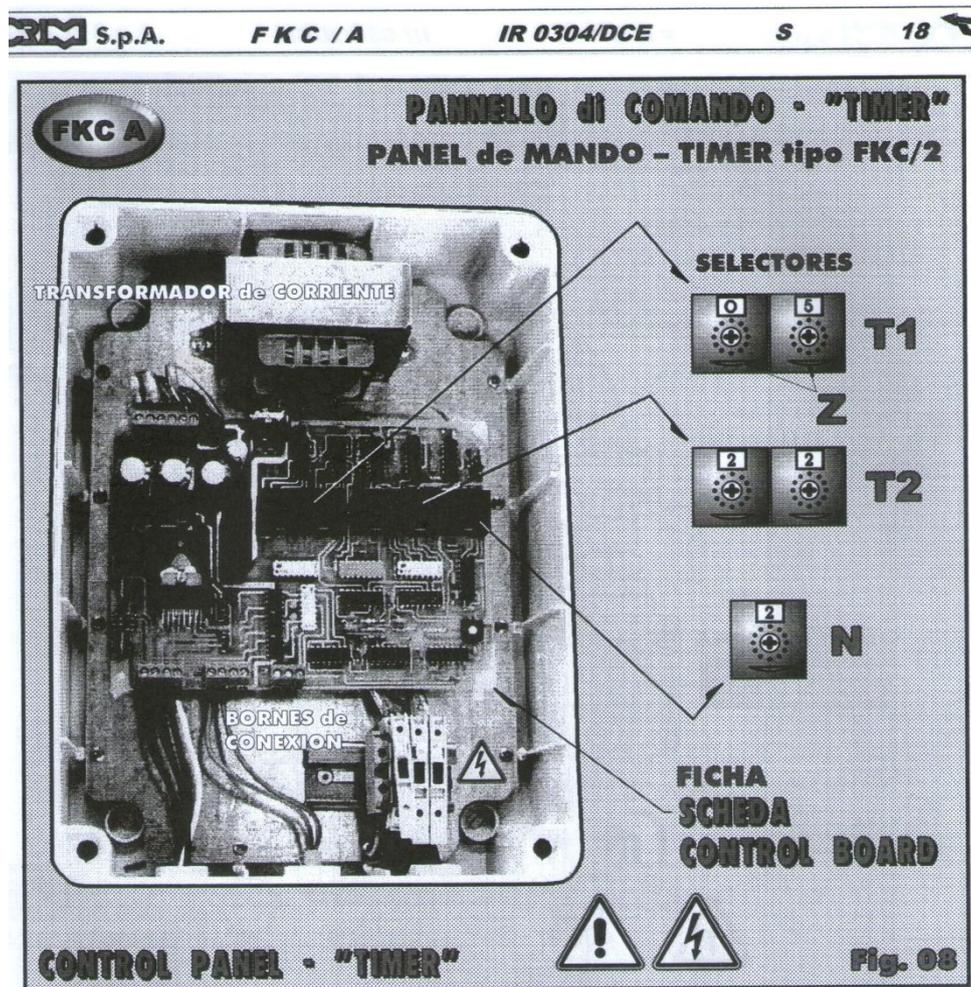


Fuente: (Manual de uso y mantenimiento, OCRIM)



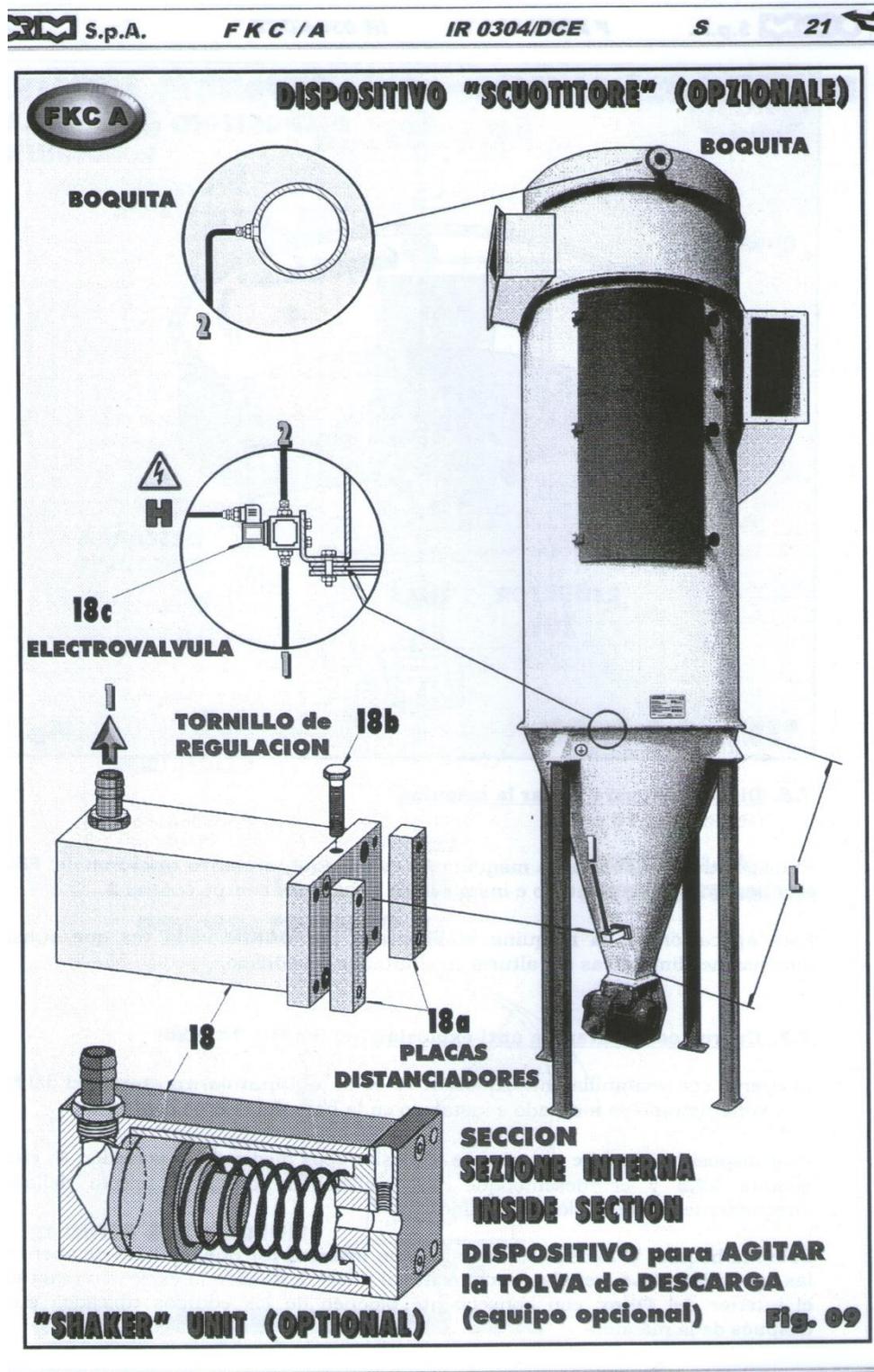
Fuente: (Manual de uso y mantenimiento, OCRIM)

## Anexo V. Panel de mando de tiempos



Fuente: (Manual de uso y mantenimiento, OCRIM)

Anexo VI. Agitador del filtro



Fuente: (Manual de uso y mantenimiento, OCRIM)