



Facultad de Ciencias Exactas  
Físicas y Naturales - UNC

**Proyecto Integrador:**

**Diseño de máquina  
contadora de  
cápsulas de gelatina  
tamaño 0 para la  
industria  
farmacéutica**

**Director:**

**Ing. Ladislao Mathe**

**Co-Director:**

**Ing. Pablo Martínez**

**Alumno:**

**VOGEL, Alex Gabriel**



# Resumen

Tengo el agrado de presentar la siguiente obra que se titula “*Diseño de máquina contadora de cápsulas de gelatina tamaño 0 para la industria farmacéutica*” a modo de cierre de mi carrera la grado de Ingeniero Mecánico Electricista.

En la misma, serán transitadas las distintas etapas necesarias para lograr el diseño de una máquina, sosteniendo un fuerte enfoque práctico orientado a resultados y aplicando los conocimientos adquiridos durante la carrera.

Se partió de la necesidad que tenía una empresa local de automatizar el proceso de cuenta y envasado de cápsulas de vitaminas. A partir de esto se realizó una investigación de productos existentes y una evaluación de diferentes sistemas llevar a cabo la cuenta. A continuación se realizaron pruebas sobre diferentes prototipos para optimizar los mecanismos que formaran parte de la máquina para terminar con un prototipo capaz de mostrar el funcionamiento completo de la máquina diseñada.

Tomando los datos de las experiencias sobre el prototipo se efectuó un diseño mecánico conforme a normas de seguridad e higiene aplicables a la producción de medicamentos, la selección de los componentes eléctricos y neumáticos y la programación de un controlador con una interfaz de usuario adaptada a las necesidades de la industria.

Para terminar se hizo un análisis costo-beneficio de implementar la máquina diseñada en un proceso de producción de características similares a la de la empresa solicitante.

El resultado es un diseño de un producto final, que tras la construcción de la primera máquina de línea y certificación de normas pueda ser fabricado en pequeña series y proveer a un sector de la industria local una solución nacional a un problema vigente.



## **Agradecimientos y dedicatorias**

En este presente trabajo agradezco a mi familia por brindarme su apoyo tanto moral como económico para permitir seguir estudiando y lograr el objetivo trazado para un futuro mejor y ser orgullo de ellos.

A mis directores del Proyecto integrador, los Ingenieros Ladislao Mathe y Pablo Martinez que me han guiado en el proceso de elaboración del presente trabajo.

A los Ingenieros Oscar Cáceres y Gabriel Gómez por la ayuda brindada dentro del espacio del Grupo de Robótica y Sistemas Integrados que permitió llevar a cabo la construcción del prototipo.

Y por último a quienes forman parte de Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, donde mediante este trabajo finalizo mi formación para un futuro como Ingeniero Mecánico Electricista.





## Índice

<b>Capítulo I - Introducción.....</b>	<b>7</b>
Prefacio .....	7
Presentación del proyecto .....	8
Justificación del proyecto .....	9
Descripción del proyecto .....	9
Referencia a empresa solicitante .....	11
<b>Capítulo II – Análisis previo .....</b>	<b>13</b>
Estudio del estado del arte .....	13
Dosificador de semillas para siembra directa .....	13
Contadores de objetos por vibración .....	14
Contadores de disco giratorio.....	16
Selección de alternativa de diseño .....	17
<b>Capítulo III – Diseño mecánico prototipo .....</b>	<b>19</b>
Propuesta de diseño mecánica .....	19
Recorrido de las cápsulas .....	20
Tolva y plataforma vibratoria .....	28
Dispositivo de cuenta .....	35
Dispositivo de selección de canal .....	40
Modificación mecánica de la máquina .....	41
Implementación en la programación del PLC .....	45
Implementación en el prototipo .....	46

---

<b>Capítulo IV – Programación del controlador .....</b>	<b>47</b>
Introducción.....	47
SIMATIC Basic Panel de 6” .....	48
Plantilla común.....	50
Inicio .....	51
Selección de Función (pantalla principal) .....	51
Cuenta .....	53
Vaciado .....	54
Cambio valores .....	56
Accionamientos manuales .....	56
Registro:.....	57
PLC Siemens S7-1200.....	59
Main .....	61
Contadores .....	67
Actuadores.....	75
Cambio_valores .....	77
Mantenimiento.....	77
Registro.....	78
<b>Capítulo V – Circuitos eléctricos y neumático .....</b>	<b>83</b>
Introducción.....	83
Instalación prototipo construido.....	84
Modificaciones para diseño final .....	84





<b>Capítulo VI – Diseño mecánico final .....</b>	<b>87</b>
Introducción.....	87
Disco y sistema de giro .....	90
Estructura de soporte .....	92
Desvío a frascos .....	93
Aro de contención y compuerta.....	94
Protección contra contactos .....	95
Tolva y plataforma vibratoria .....	96
<b>Capítulo VII – Análisis económico.....</b>	<b>99</b>
Análisis de costo-beneficio.....	99
Análisis de conveniencia del proyecto.....	99
Costos de fabricación.....	100
Análisis de conveniencia de implementación .....	105
<b>Capítulo VIII - Conclusión .....</b>	<b>107</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>109</b>



---

<b>ANEXOS.....</b>	<b>111</b>
ANEXO I.....	113
Mecanismo de cuenta alternativa.....	113
<b>Introducción</b> .....	1
<b>Ensayos</b> .....	2
<b>Descarga de cápsulas</b> .....	2
<b>Altura de tolva</b> .....	4
<b>Recorrido de salida</b> .....	4
<b>Cuenta</b> .....	5
<b>Conclusión</b> .....	6
ANEXO II.....	7
Planos subconjuntos mecánicos .....	7
ANEXO III.....	9
Planos circuitos eléctricos y neumático.....	9
ANEXO IV .....	11
Hojas de datos de componentes.....	11



## Capítulo I - Introducción

### Prefacio

La automatización industrial consiste en llevar a cabo procesos de manera autónoma, sin intervención de un operario. Esto es la base sobre la cual descansa el gran adelanto industrial de los países más poderosos del planeta, esto es así porque los procesos industriales susceptibles de ser automatizados, cuando operan así, entregan un producto de mayor calidad, menor variabilidad y costos que cuando son manejados por personas.

Por otro lado la automatización industrial permite producir un mayor número de unidades por empleado, logrando un mayor rédito económico. Este aumento en las ganancias, en parte, puede ser destinado a capacitación y mayor remuneración hacia los empleados, consiguiendo personal más idóneo, un mejor ambiente de trabajo y una mayor identificación de los trabajadores con la empresa.

Siendo el área de ingeniería el encargado de la mejora de productos y procesos, pareció oportuna la realización de un proyecto final que me introduzca en la automatización de procesos, llevando a la práctica los conocimientos obtenidos en la materia durante el cursado y con el asesoramiento de profesores que hoy en día trabajan en el área. Por estos motivos se decidió la realización del prototipo de un contador de cápsulas de gelatina para la industria farmacéutica, que hará posible la derivación de un trabajo monótono y de grandes responsabilidades de un operario a una máquina.

## **Presentación del proyecto**

El presente proyecto aborda el diseño de una **máquina contadora de cápsulas de gelatina automática**. Esto es una máquina que, seleccionando por parte del operario el número de pastillas y frascos que se quieren envasar, realice el proceso de llenado de los mismos contando las pastillas que se van introduciendo en cada uno hasta finalizar el lote con las cantidades especificadas.

Para lograr esto se realizarán las siguientes actividades:

- Estudio de los métodos de cuenta utilizados en la actualidad
- Análisis crítico de los mismos para lograr una propuesta
- Evaluación de factibilidad y funcionamiento de la misma a partir de la construcción de un prototipo
- Diseño de la máquina

De esta manera se logrará el diseño de un prototipo de máquina que automatizará una parte de un proceso industrial hoy realizado de manera manual por pequeñas y medianas empresas.

Para lograr una buena funcionalidad y confiabilidad se utilizará una pantalla HMI táctil como interfaz hombre/máquina con un PLC como órgano de control.

Por otra parte la máquina contará con un depósito que alojará las cápsulas a granel, dándole autonomía y permitiendo una fácil recarga de la misma. Para poder ser contadas deberán caer con un caudal controlado a un dispositivo encargado de separarlas y alinearlas para pasar por último a través de un sensor de cuenta.

La salida de este mecanismo deberá contar con una compuerta que actúe de manera inmediata de modo de cerrarse con la mayor rapidez posible al ocurrir un imprevisto (como p.ej. sacar el envase de la salida) evitando la pérdida de cápsulas por contaminación debida a un error humano. Por otro lado se diseñará pensando en dos salidas con el objeto de permitir al operario cambiar el frasco lleno mientras se encuentra el alternativo en proceso de llenado, logrando un trabajo continuo por parte de la máquina y aumentando la productividad de la misma. El formato diseñado para la salida tendrá en cuenta la posibilidad de proveer una alimentación continua de frascos, para lograr de esta manera eliminar la necesidad del operario y hacer un mayor cambio en la productividad del proceso. Pero la implementación de este sistema excede el alcance de este trabajo y deberán realizarse pequeñas modificaciones a la salida de las cápsulas y al programa del PLC para efectuarla.



Tanto el controlador, los sensores, motores eléctricos y actuadores utilizados en la máquina serán elementos disponibles en el mercado, de modo de hacer posible la construcción directa de la máquina, sin la necesidad de efectuar adaptaciones, y ofreciendo una mayor estandarización, lo que garantiza la oferta de repuestos a largo plazo.

## **Justificación del proyecto**

La facultad tiene entre otros objetivos, la formación de profesionales con conocimientos aplicables al ecosistema industrial local y el desarrollo y traspaso de nuevas tecnologías aplicables al mismo. Por su parte el presente proyecto pretende cumplir con ambas incumbencias ya que el proyecto fue pedido al Grupo de Robótica y Sistemas Integrados (GRSI) por la empresa LINFAR S.A.. Y tiene como objetivo lograr un prototipo que permita mostrar el correcto funcionamiento y partiendo de mismo ofrecer las especificaciones necesarias para la construcción de una máquina capaz de trabajar en la industria.

Desde el punto de vista del cierre de la formación de grado, permite llevar a la práctica los conceptos aprendidos sobre control de procesos, la selección de componentes electrónicos industriales, el diseño mecánico y eléctrico, no sólo desde el punto de vista de la presentación de planos y documentación necesaria para la correcta fabricación de la máquina sino que también mediante ensayos en un prototipo que permitan inferir el correcto desempeño de la futura máquina y por último sobre la organización y persistencia necesaria para llevar a cabo exitosamente un proyecto, enfrentando así los contratiempos surgidos en el proceso.

Por último siendo una máquina solicitada por una empresa de Córdoba, cumplir con los estándares requeridos en la práctica, agrega un elemento extra al valor del proyecto.

## **Descripción del proyecto**

Teniendo en cuenta que el proyecto presenta una oportunidad de iniciar un emprendimiento, se decidió verificar la utilidad de la máquina no sólo para a empresa solicitante sino para otras productoras de medicamentos de la zona. Con este objetivo se decidió realizar un análisis de los tipos disponibles y niveles de utilización de las cápsulas de gelatina en Córdoba, realizando una consulta en los laboratorios de la facultad de ciencias químicas. Los datos arrojados por esta consulta se muestran en la imagen siguiente (los tamaños de las cápsulas se encuentran aproximadamente en escala real)

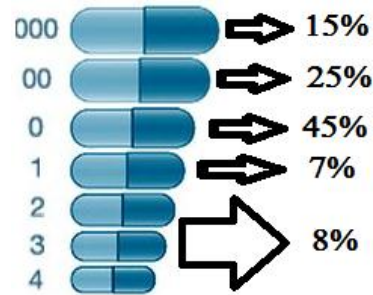


Imagen 1: Porcentaje de uso

Dado que el tamaño “0” es el utilizado por amplia mayoría en el mercado, se confirmó la idea de diseñar la máquina para este tamaño tal como había solicitado la empresa, pero dejando abierta la posibilidad de realizar pequeñas modificaciones para adaptar la máquina a tamaños más grandes, teniendo en cuenta que con tres tamaños se abarcaría aproximadamente un 85% de lo que se produce en Córdoba.

Por otra parte, en base a una consulta con el cliente, se fijaron como requisitos que la máquina tuviese la capacidad de contar de al menos 150 pastillas/minuto y con un error deseable menor al 1 por mil.

Una vez delimitado el área de aplicación de la máquina se evaluaron los mecanismos existentes en el mercado para la realización de cuenta de objetos para tomar como punto de partida en la búsqueda de una solución.

Una vez hecho un análisis crítico de los mismos, se realizaron pruebas sobre prototipos construidos en el GRSI con el objetivo de verificar el funcionamiento y optimizar parámetros de la máquina.

Tomando los datos resultantes de los ensayos en los prototipos, se realizó el diseño de la parte electro-mecánica, la selección de los componentes eléctricos/electrónicos y la integración de los mismos mediante el diseño de una máquina conforme a las normas aplicables a la producción de medicamentos.

## **Referencia a empresa solicitante**

Linfar es un laboratorio especializado en Nutrición Biológica que investiga y trabaja con nutrientes bioactivos desde 1976.

Sus aportes se alinean con investigaciones biológicas y biotecnológicas de vanguardia, habiendo logrado el desarrollo de nutrientes celulares órgano-específicos que permiten solucionar problemas a nivel celular, restaurando y reactivando las funciones deficitarias del organismo.

Sostiene, además, la Fundación Argentina para el Desarrollo de Investigaciones Biológicas -FUNDABIO-, dedicada a la investigación, capacitación y docencia de terapias basadas en nutrientes orgánicos.

La planta LINFAR Córdoba, es una dependencia de la compañía que se especializa en la elaboración de suplementos nutricionales. Estos productos se comercializan en cápsulas de gelatina de tamaño 0 en frascos de diferentes cantidades.



**Imagen 2: Frascos vitamina**

Actualmente una parte del proceso de producción de los mismos corresponde a la cuenta y envasado de los mismos y se lleva a cabo de manera manual por parte de un operario con la ayuda de plantillas de cuenta como la que se muestra a continuación. Las mismas varían en el tamaño y cantidad de alojamientos para ajustarse a las necesidades de la cuenta a realizarse



**Imagen 3: Plantilla de cuenta**



El proceso consiste en insertar la plantilla en un recipiente con cápsulas a granel levantando una gran cantidad de las mismas y hacer vibrar de manera manual la plantilla hasta tener llenos la totalidad de los alojamientos y haber devuelto las cápsulas sobrantes nuevamente al recipiente que las contenía a granel.

Luego se coloca un embudo en el frasco y se vuelca el contenido de la plantilla en el mismo y se repite el proceso tantas veces como frascos haya que llenar.

El principal problema de este método es la dependencia del control de la cantidad de cápsulas de un operario, que se encuentra haciendo la misma tarea de manera repetitiva y monótona haciéndola una actividad muy propensa a errores. Por otra parte la velocidad de cuenta en promedio luego de una jornada laboral completa difícilmente supere las 100 cápsulas por minuto. La propuesta consiste en desarrollar una máquina que realice esta operación de manera automática, aumentando el nivel de productividad y reduciendo drásticamente la posibilidad de errores en la cuenta.



## Capítulo II – Análisis previo

### Estudio del estado del arte

Como primer paso al iniciar un proyecto, se considera oportuno realizar una búsqueda de los proyectos o soluciones similares existentes en la actualidad. Para evitar acotar la solución se tomaron como referencia sistemas de cuenta de diferentes objetos, pero de tamaños similares a las cápsulas “0”. A continuación se enumeran los sistemas de cuenta estudiados:

- Dosificador de semilla para siembra directa
- Contadores de objetos por vibración
- Contadores de cápsulas y pastillas de medicamentos giratorios

En los títulos siguientes brinda una breve descripción de los sistemas observados junto a las características de los mismos para finalizar con un cuadro comparativo y la selección del método que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.

### Dosificador de semillas para siembra directa



Imagen 4: Contador sembradora

El método de cuenta utilizado por las sembradoras actuales posee precisión y una velocidad elevada y variable. El mismo consiste tener las semillas a granel en un depósito por donde pasa una plantilla giratoria que posee el tamaño aproximado de una semilla pero que imposibilita la entrada de dos juntas. En este alojamiento se genera un vacío que succiona la semilla y dada la longitud del recorrido de la plantilla por un área donde hay en existencia semillas a granel, la tasa de llenado de estos habitáculos es muy elevada. Teniendo en cuenta este aspecto y con un debido diseño de la plantilla, se puede lograr una

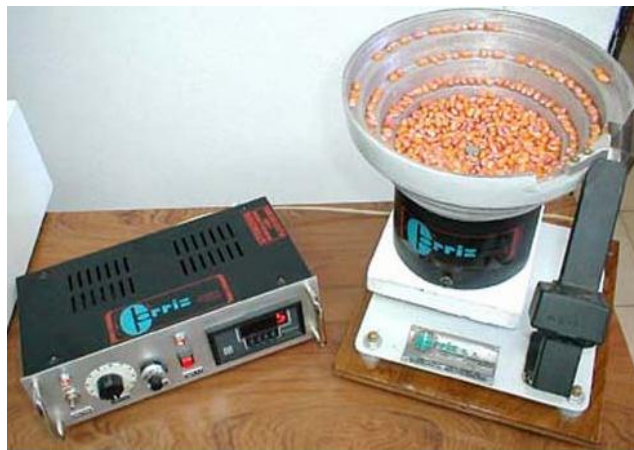
distancia entre semillas muy uniforme, haciendo entonces el vano de igual tamaño que la semilla se podría maximizar la velocidad de cuenta hasta la limitación de un sensor o contador, elemento que se debe agregar ya que la sembradora no necesita de una cuenta al ir arrojando la semilla.

Las ventajas de este dispositivo son el tamaño, la uniformidad y la velocidad de la cuenta que se podría lograr, pero tiene como desventaja la complejidad del mecanismo, el constante paso de aire que necesitará filtrado y un circuito complejo debido a que solo debe sostener las cápsulas en la parte superior del recorrido y por último la necesidad de cambiar de plantilla cada vez que se modifica el tamaño de la cápsula a contar.

### **Contadores de objetos por vibración**

#### ***Plato vibratorio***

El método consiste en hacer oscilar el plato, ubicado en la parte superior de la máquina mostrada en la figura, en el sentido del espiral haciendo recorrer, los objetos ubicados a granel en el centro, hacia arriba. Por último los objetos a contar pasan por el sensor que realiza la cuenta para ser desalojados por un canal que los deposita en los frascos.



**Imagen 5: Contador de semillas**

El mecanismo posee la ventaja de su sencillez y a posibilidad de ubicar los objetos en algún sentido determinado agregándole ciertos obstáculos al circuito, además de que permite la cuenta de una gran variedad de objetos de diferentes formas y dimensiones prácticamente sin modificaciones. Por el lado de las desventajas, es un método muy lento, el plato superior posee una forma difícil de construir y es un mecanismo que funciona con vibración, generando ruidos y esfuerzos indeseados en los componentes.

### ***Canales vibratorios***

Este tipo de contadores está dividido en tres áreas, la primera que es encargada de crear un flujo de cápsulas controlado saliente de la tolva donde están depositadas a granel, la segunda que cuenta con canales encargados de separar y alinear las cápsulas y la tercera que consta de un embudo que direcciona las cápsulas al frasco a llenar. Los sensores encargados de la cuenta se ubican a la salida de los canales que alinean las cápsulas, llenando un depósito intermedio hasta una cantidad “N”, siendo “N” el siguiente valor aleatorio

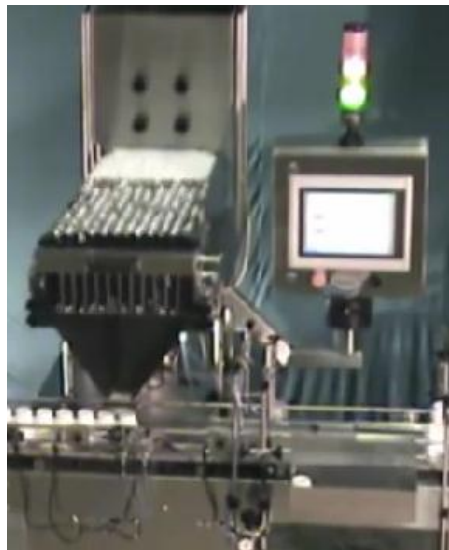
$$D - n < N < D$$

Con:

n = número de canales

D = cantidad de cápsulas deseadas en el frasco

Para lograr la cuenta exacta posee un canal de control separado que continúa hasta llegar a que la cantidad de cápsulas en el depósito sea “D”. Una vez finalizado ambos se abre el depósito intermedio dejando caer la cantidad D de pastillas al frasco.



**Imagen 6: Contador capsulas vibratorio**

Los principales problemas del método son el tamaño de la máquina y el largo de la plataforma que debe vibrar para finalizar sin cápsulas superpuestas, además de la complejidad del mecanismo y la cantidad de actuadores y sensores necesarios. Pero posee como puntos a favor que puede contar una gran variedad de tamaños y formas sin tener que realizarle modificación alguna y la posibilidad de alcanzar una gran velocidad de cuenta debido a que el agregado de canales paralelos no influye de manera considerable en el tamaño final de la máquina.

### **Contadores de disco giratorio**

El método consiste en contar con una tolva donde se depositen las cápsulas a granel y sean desalojadas con caudal controlado sobre un disco plano giratorio. Sobre este se encuentra formado un recorrido cuya finalidad es alinear las cápsulas y sacarlas mediante un canal donde se las cuenta y dirige hacia el frasco a llenar. En las figuras a continuación se muestran ejemplos de estas con diferentes recorridos.



**Imagen 7: Contador capsulas por disco**

Este tipo de máquina posee como ventaja la simplicidad del mecanismo (dependiendo del circuito adoptado), la durabilidad ya que no tiene piezas sueltas y la versatilidad de elementos para contar con pequeñas modificaciones (aunque no a nivel de los contadores por vibración). Como desventaja el hecho de poseer un solo canal de salida y poder desalojarse cápsulas con muy poca distancia entre ellas el tiempo que se debe dar al sensor para contarlas limita la velocidad de giro del plato y por lo tanto la velocidad de cuenta alcanzable por el método.

**Selección de alternativa de diseño**

Para seleccionar el método a utilizar para el diseño de la máquina, se elaboró el siguiente cuadro con los puntos a favor y en contra de los sistemas disponibles en el mercado, evaluando los siguientes aspectos

1. Simplicidad del diseño
2. Robustez y flexibilidad
3. Facilidad para el desarme y limpieza
4. Economía de fabricación y uso
5. Velocidad de cuenta

	<b>Contador con plantilla</b>	<b>Mecanismo vibratorio</b>	<b>Disco giratorio</b>
1.	La plantilla debe tener las dimensiones y forma de la cápsula, por lo deberá construirse un disco con estos alojamientos, además del sistema de forzado de aire	Se debe proveer de un mecanismo de vibración para una plataforma de tamaño considerable para que en el recorrido se separen las cápsulas y un mecanismo de contención y cuenta por cada canal además de uno extra para completar el valor	Es un disco liso y el recorrido se puede implementar en la tapa, construyendo ambos por separado
2.	Si bien es un mecanismo robusto (proveyendo del adecuado filtrado del aire) es muy poco flexible ya que la plantilla se debe construir para un tamaño exacto de cápsula	La falta de robustez de mecanismo está dada por el tamaño de la pieza que debe vibrar, generando problemas de fatiga en la máquina.  Por otro lado este es el mecanismo más flexible, ya que no se requieren de acciones para cambiar de tamaño o forma de cápsulas	La solidez de un disco girando a un número bajo de revoluciones es lo que da la robustez al método y el hecho de poder hacer variable el ancho de la entrada al canal de salida da cierta flexibilidad para el tamaño de las cápsulas a contar
3.	Como primera medida requerirá un mantenimiento programado para cambiar el filtro, ya que de no hacerse el constante recorrido de aire proveerá al producto de contaminantes.  Por otra parte para la limpieza del interior deberá desarmarse este sistema	Si bien la limpieza de la plataforma de vibración es sencilla, requerirá de continua atención, mínimamente para el engrase y control de desgaste del mecanismo de vibración	El único mantenimiento requerido será de la limpieza del disco, lo que se podrá hacer de manera sencilla colocando el recorrido en la tapa y haciendo la misma extraíble



4.	El costo del método se verá elevado por la construcción del mecanismo de succión y del mantenimiento de este, además de la necesidad de una plantilla a medida	El aumento del costo de la máquina se debe al sobredimensionamiento necesario para un mecanismo vibratorio y el mantenimiento requerido por el mismo	Dada la sencillez del mecanismo se prevé menores costos de fabricación frente a sus alternativas, pero mayor costo de operación dada la menor capacidad de procesamiento de cápsulas por minuto
5.	Este método posee la mayor velocidad de cuenta posible con un sensor, ya que la separación entre cápsulas está dada por una plantilla, pudiendo hacerse del mismo tamaño que la cápsula y por lo tanto dando el mismo tiempo en ambos estados	Dada la posibilidad de cuentas en paralelo con un contador vibratorio se pueden obtener la mayor tasa de llenado de los tres métodos	Posee una velocidad de cuenta limitada por el pequeño espacio que dejan a pasar dos cápsulas pegadas por el sensor, haciendo muy chico el vano entre ellas

Realizando una evaluación detallada de los elementos expuestos en la tabla y teniendo en cuenta que la máquina a diseñar debe prestar una solución para pequeñas y medianas empresas, se concluyó que el método más apropiado para utilizar es el del disco giratorio.

El motivo es que teniendo en cuenta la situación de una pequeña empresa recibieron mayor ponderación las ventajas que posee el método de disco giratorio (simplicidad de diseño y fabricación, facilidad de desarme y limpieza, bajo mantenimiento y robustez) ya que influyen directamente en el costo construcción y operación de la máquina frente a la desventaja (baja velocidad de cuenta) que de todos modos supera al valor requerido por el cliente (pag. 9).



## Capítulo III – Diseño mecánico prototipo

### Propuesta de diseño mecánica

Luego de haber efectuado experimentos para ensayar una metodología de cuenta alternativa, (ver Anexo I), justificada en un principio porque suponía una mayor simplicidad y velocidad de cuenta, se decidió desestimarla y continuar con el método de cuenta seleccionado anteriormente. Entre los motivos encontrados para su rechazo, el más fuerte ha sido la agresividad del sistema hacia las cápsulas, ya que genera la posibilidad de romperlas en el proceso de cuenta y al no haber un paso posterior en que se controle la integridad de las mismas, se hace probable la llegada de un producto defectuoso al cliente y esto es inadmisibles.

Confirmada la decisión de diseñar el sistema de cuenta seleccionado en el análisis del capítulo II, se consultó sobre la posibilidad de utilizar un prototipo, sin terminar, existente en el GRSI. Una vez obtenido el permiso, se procedió a desmantelarlo para utilizar la estructura y el disco giratorio del mismo como punto de partida, realizando la implementación de los demás elementos necesarios para lograr el funcionamiento completo del prototipo sobre ellos.

Los elementos a diseñar pueden ser divididos en los siguientes grupos:

- Recorrido de las cápsulas
- Tolva y plataforma vibratoria
- Dispositivo de cuenta
- Dispositivo de selección de canal

Cada uno de los mismos se abordará en las páginas siguientes, realizándose una descripción y explicación detallada de los ensayos realizados para llegar al diseño final.

## **Recorrido de las cápsulas**

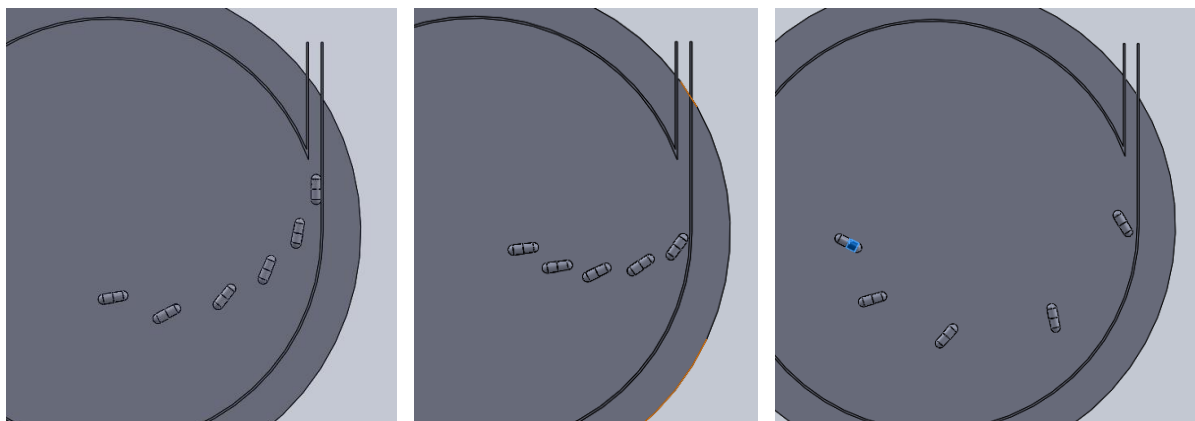
El objetivo de seleccionar el recorrido de las cápsulas sobre el disco giratorio es lograr que estén alineadas y con una cierta separación entre una y otra para facilitar el conteo cuando pasan a través del sensor.

Los siguientes ensayos se realizaron sobre un disco de acrílico buscando obtener un sistema simple, de fácil limpieza y que permita una buena velocidad de cuenta. En cada caso se explica el sistema, la respuesta que se esperaba tener y por último lo observado mediante la experiencia.

### **Comportamiento de las cápsulas**

La primera medida tomada para mejorar la eficiencia de la máquina fue achicar el diámetro del aro que contiene el disco para poder proveer una salida tangente al fleje de contención, de modo de evitar la pérdida de velocidad de las cápsulas en la salida, y por lo tanto la distancia entre ellas. Una vez implementada ésta modificación se procedió a arrojar cápsulas sobre este y filmar el recorrido que transitan.

Se observó que tienden a mantener la misma trayectoria dependiendo de la posición en la que se encuentran al inicio del movimiento, pero dada la infinita cantidad de posiciones que pueden adoptar al caer de la tolva al disco, este comportamiento de las cápsulas resulta aleatorio. En las figuras siguientes se muestran ejemplos de diferentes trayectorias de acuerdo a la posición inicial de la cápsula



**Imagen 8: Comportamiento cápsulas**

Se obtuvieron dos conclusiones importantes de esta experiencia: la primera fue que dada la gran variación de la distancia recorrida por las cápsulas dentro del disco hasta llegar a la periferia del mismo, se deberá colocar la salida de la tolva inmediatamente después de



la compuerta de salida del disco, de modo de darle a las mismas la totalidad del recorrido para desplazarse hasta la periferia. Por otra parte, sin ningún elemento que ordene las cápsulas durante este recorrido la probabilidad de atascamiento de las mismas en la compuerta de salida es muy grande y se da de la siguiente manera

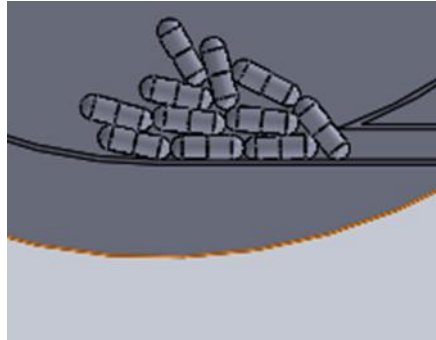


Imagen 9: Atascamiento en compuerta

#### Primera alternativa

Buscando un método simple para imponer un orden en las cápsulas antes de llegar a la compuerta de salida, se colocó un obstáculo en la periferia del disco. El resultado esperado era que avancen las cápsulas que se encontraban en línea respecto al aro de contención mientras que las dispuestas en posición de producir un atascamiento sean expulsadas hacia el centro, debiendo recorrer otra vuelta en el disco para lograr el ingreso. Esto está representado en la secuencia de imágenes siguiente

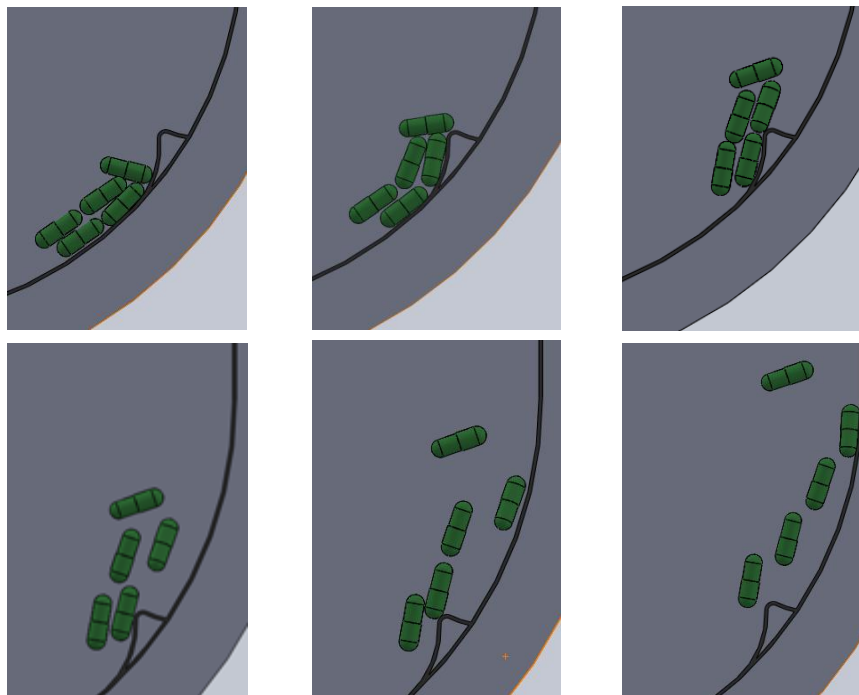


Imagen 10: Secuencia esperada con obstáculo

Pero luego de probar con diferentes formas, tamaños de obstáculos y posiciones de los mismos relativa a la compuerta de salida, se observó que lo que se lograba en realidad era una notoria tendencia a la ubicación transversal de las cápsulas desembocando en un mayor atascamiento. La secuencia mayormente observada en las sucesivas experiencias fue la siguiente

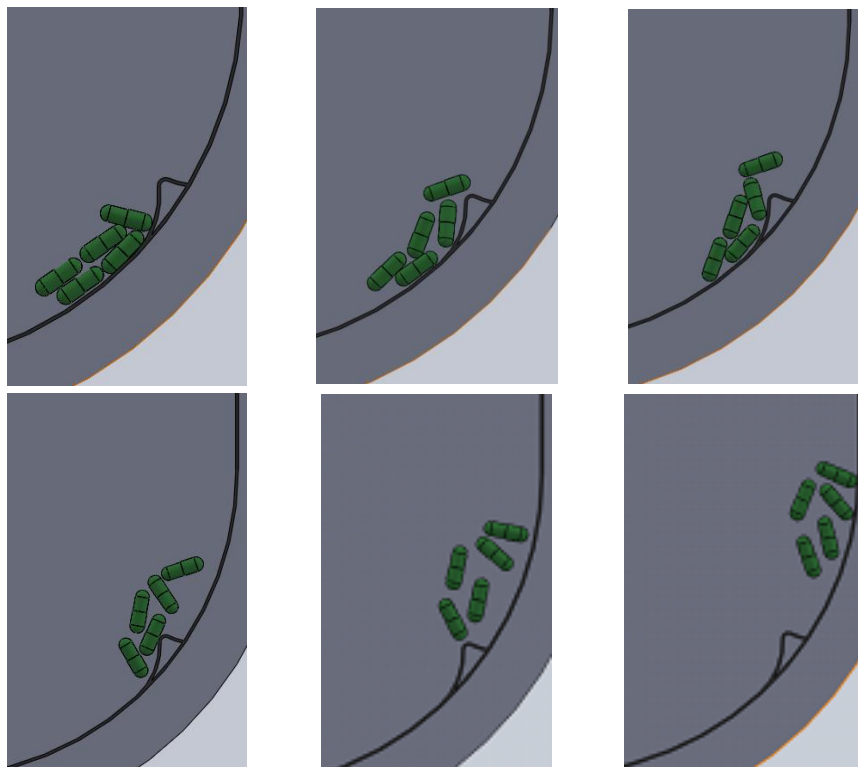


Imagen 11: Secuencia real con obstáculo

Concluyendo que con sólo un simple obstáculo no se lograba el objetivo planteado, por lo tanto se debía encontrar otra solución.

### Implementación de circuitos de guía

A continuación se implementó un circuito hecho por flejes de chapa ideado de manera experimental, con el objeto de producir choques entre las cápsulas y alinear las mismas, finalizando en el sensor de cuenta y la compuerta de salida.

La experiencia finalizó en un recorrido muy complejo, conteniendo zonas muertas en las que al ingresar las cápsulas quedan atrapadas hasta la limpieza de la máquina. A su vez nos encontramos con reducciones de la sección de pasaje de las cápsulas, teniendo como resultado el atascamiento de las mismas que si bien se produce una descongestión con el tiempo retrasan de gran manera los tiempos de cuenta. Por último, los problemas anteriores resultan en una velocidad de cuenta muy baja, la velocidad media obtenida mediante la cuenta de 50 frascos con 20 cápsulas cada uno fue de unas 65 cápsulas por minuto, que

termina siendo incluso inferior a la que logra un operario por medio de plantillas en la actualidad.

En la siguiente imagen se muestra un esquema de uno de los circuitos ensayados y las zonas mencionadas:

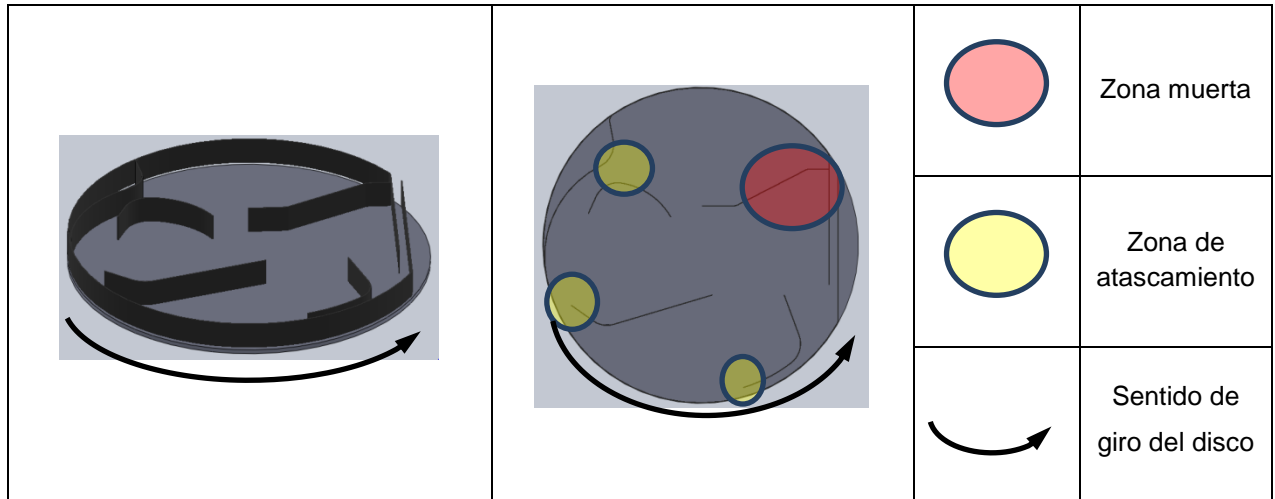


Imagen 12: Esquema circuitos de guía

Teniendo en cuenta que la aplicación de este recorrido al método de cuenta hace salir a la máquina de las especificaciones del cliente (velocidad de cuenta mayor a 150 cápsulas/minuto) y elimina ciertas ventajas del método, como lo es la facilidad de limpieza, se decidió remover este circuito y analizar otro sistema de alineación.

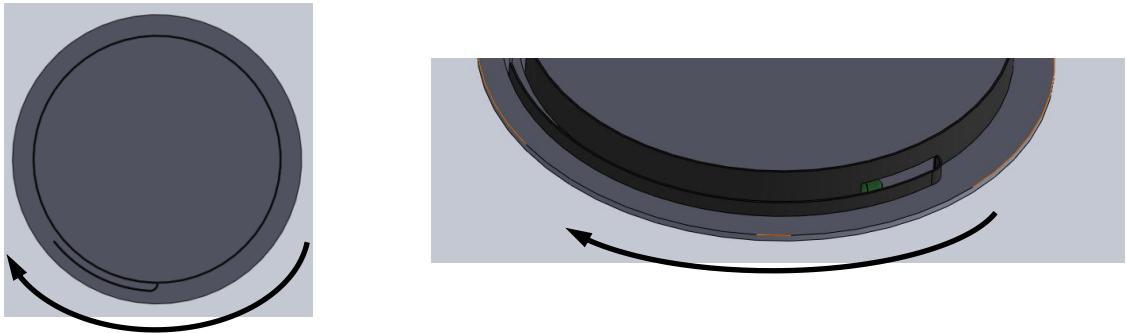
### Rediseño de la apertura de salida

Teniendo en cuenta que controlar el recorrido de las cápsulas dentro del disco resultaba en un recorrido demasiado complejo y que otro elemento importante del sistema que aún no había sido evaluado era la ranura por la cual abandonan el disco, se optó por pensar modificaciones a la misma.

La apertura de salida que se pensaba utilizar (imagen 9) requería una perfecta alineación para evitar los atascamientos de las cápsulas, ya que al llegar a esta una cápsula atravesada y atascar la salida, la fila formada detrás de ella daba una tendencia a mantener el obstáculo en posición.

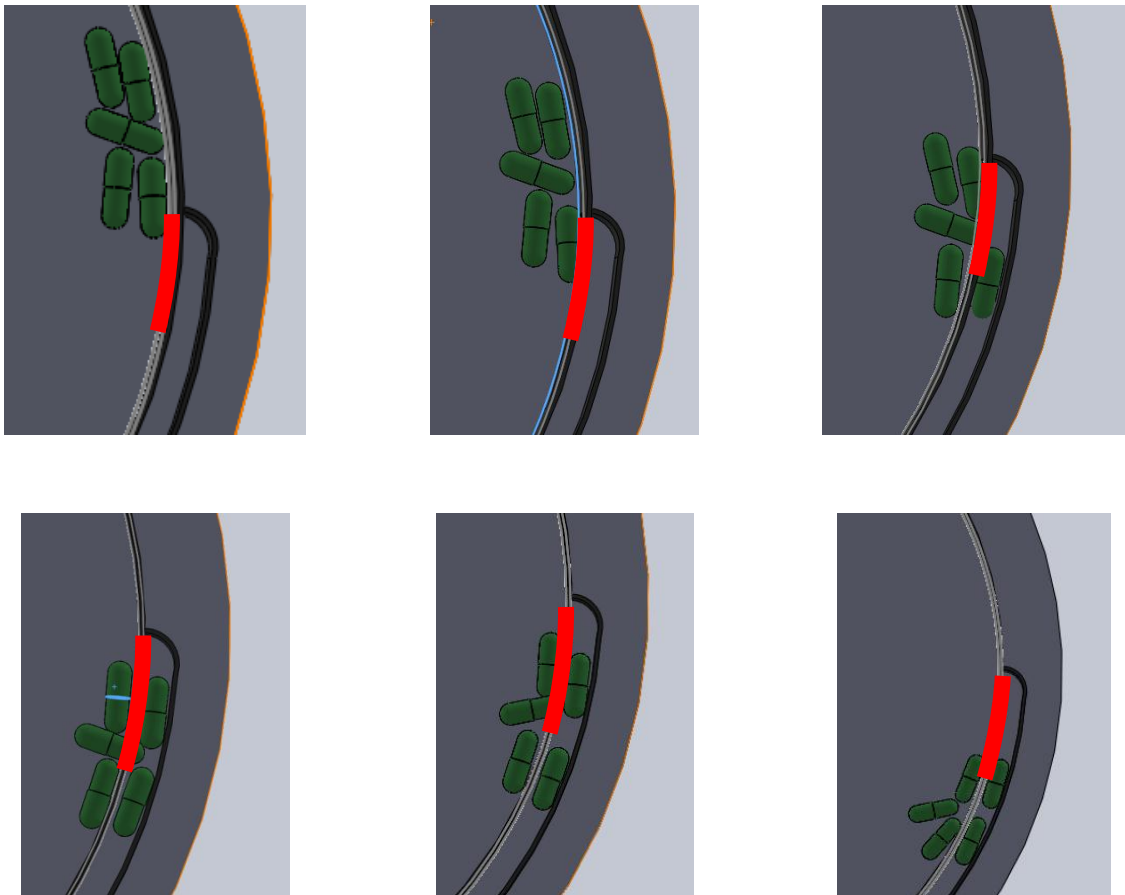
Motivados por esto se pensó que la solución llegaría al cambiar la forma de dicha salida, por una que evite el ingreso de las cápsulas atravesadas o, en caso de darse, se pueda desatascar de manera autónoma, por medio de una fila formada detrás del obstáculo que logre forzar la cápsula a salir de la compuerta.

La forma planteada fue la siguiente:



**Imagen 13: Esquema compuerta**

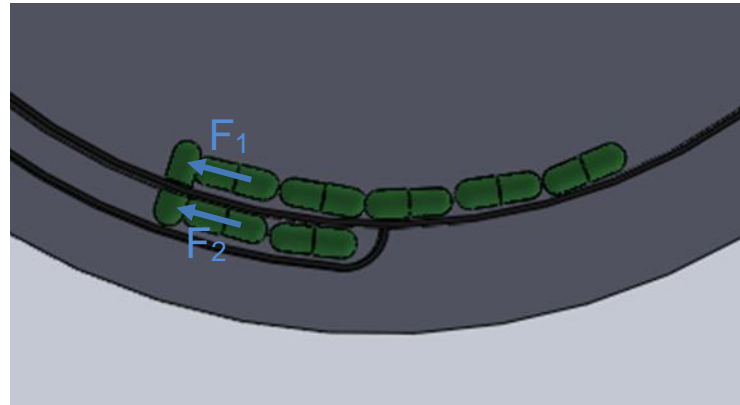
El principio de funcionamiento supuesto por este tipo de ranura es el siguiente, marcando en rojo la zona abierta del aro de contención



**Imagen 14: Funcionamiento compuerta**

Como se observa en la figura sólo las cápsulas que se encuentran alineadas con el aro de contención alcanzan a rodar hacia afuera a través de la apertura, mientras que las que se encuentran atravesadas pasan de largo. Pero aún en caso de llegar una cápsula

atravesada a la compuerta, la cantidad de cápsulas que se ubican detrás de ella intentando mantenerla en esta posición es menor que las que se ubican tratando de sacarla, haciendo una fuerza  $F_1 > F_2$  y por lo tanto liberando la compuerta en un corto lapso de tiempo y sin intervención del operario



**Imagen 15: Ubicación fuerzas**

Teniendo en cuenta el buen funcionamiento y la simplicidad del último sistema se optó por implementarlo. Una vez probado el funcionamiento de la compuerta se procedió a optimizar la velocidad de salida de las cápsulas con este tipo de ranura, para esto se ensayaron diferentes cantidades de cápsulas dentro del disco, evaluando la velocidad de desalojo de cada caso.

El procedimiento consistió en mantener girando el disco durante 2 minutos y arrojar cápsulas de forma manual sobre el mismo manteniendo un nivel de llenado constante y finalizado los 2 minutos se contaban las cápsulas desalojadas. La experiencia se repitió varias veces para cada nivel de llenado. Los resultados arrojados se resumen a continuación, junto con un gráfico representativo, indicando en celeste el área aproximada ocupada por las cápsulas y mostrando algunas como referencia de tamaño:

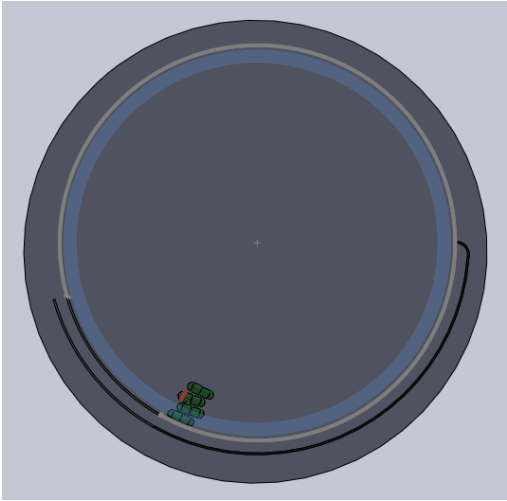
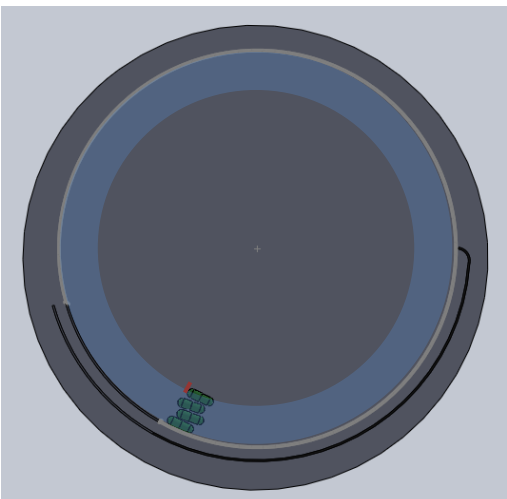
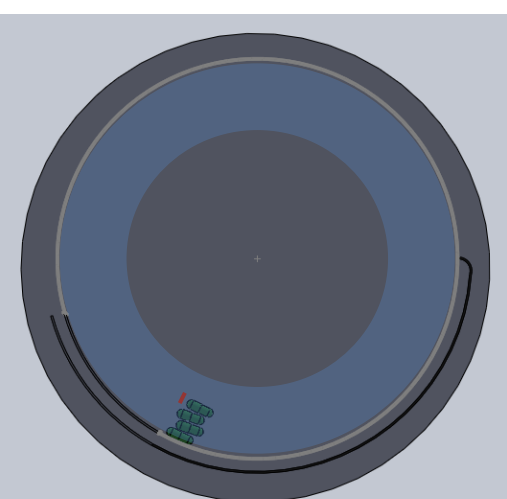
	<p><u>Nivel de llenado bajo:</u> con pocas cápsulas en el disco, aproximadamente un ancho del disco ocupado menor o igual a dos cápsulas ubicadas sobre la periferia se obtuvieron velocidades de desalojo muy variables, oscilando entre 80 y 200 cápsulas por minuto. Esto se explica porque al atascarse una cápsula en la compuerta, había una escasa presencia de cápsulas dando vuelta en el disco para crear una fila que haga fuerza y la saque de su posición, pero las grandes velocidades se daban ya que se producían pocos atascamientos debido al espaciamiento entre cápsulas que se daba</p>
	<p><u>Nivel de llenado medio:</u> con una cantidad de cápsulas tal que ocupen un ancho de 3-4 cápsulas alineadas sobre la periferia, se obtuvo una tasa de desalojo de entre 160-180 cápsulas por minuto. Un valor menor al máximo anterior pero bastante constante en las sucesivas experiencias. Esto se explica ya que al haber una mayor cantidad de cápsulas en el disco aunque se da un mayor nivel de atascamiento se produce una liberación rápida de la salida puesto que se genera rápido la cola de cápsulas necesaria para desatascar la compuerta</p>
	<p><u>Nivel de llenado alto:</u> cuando la cantidad de cápsulas era suficiente para mantener ocupadas un ancho del disco mayor a 4 cápsulas alineadas, la tasa de vaciado se reducía a 100-120 cápsulas por minuto, ya que el efecto del rápido desatascamiento de la compuerta se veía ofuscado por la frecuencia del bloqueo de la misma</p>

Imagen 16: Niveles de llenado del disco



Se evidenció en la experiencia que se puede esperar una velocidad de cuenta de unas 160-180 cápsulas por minuto. Por último se recomienda colocar una guía flexible después de la zona de descarga de cápsulas en el disco y un sensor para mantener el nivel de llenado óptimo, este conjunto logra acelerar incluso más la velocidad de cuenta. Se muestra la ubicación recomendada de ambos elementos en la siguiente imagen

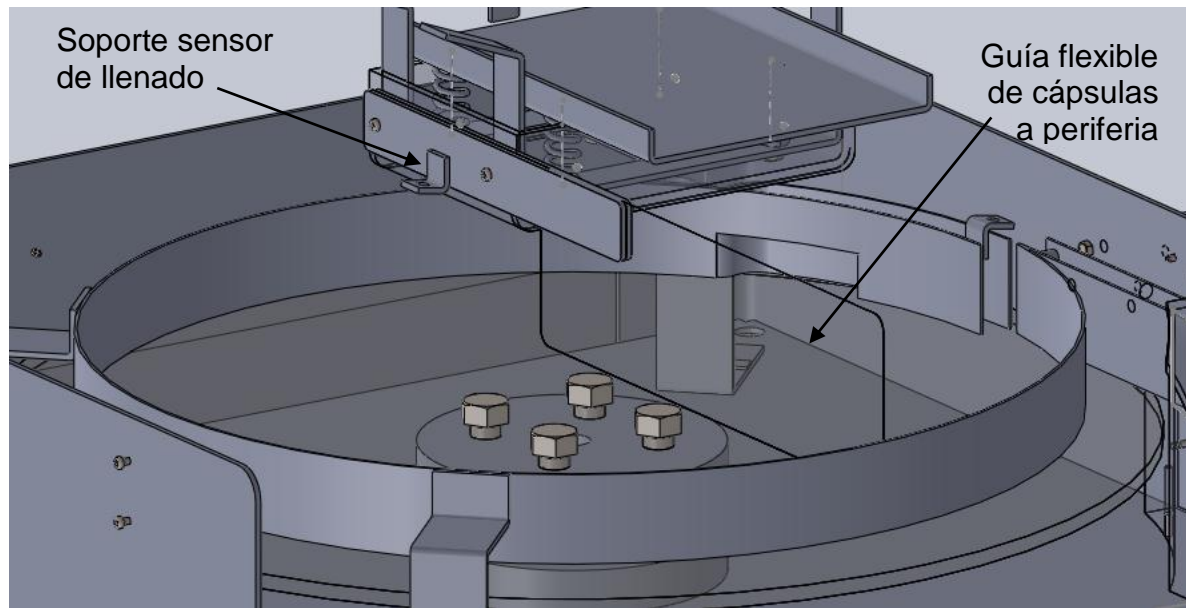


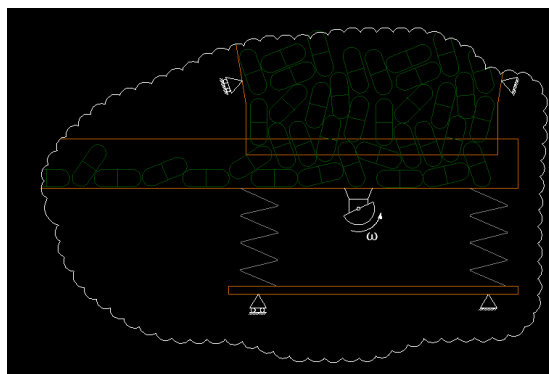
Imagen 17: Ubicación sensor y guía flexible

## **Tolva y plataforma vibratoria**

Con el objeto de dar autonomía a la máquina y facilitar el trabajo al operador, se hizo necesario que la máquina cuente con un elemento capaz de albergar las cápsulas a granel y realizar la dosificación sobre el disco de manera eficiente. A los efectos de lograr esta característica se propuso de proveer a la máquina de una tolva con una salida de la misma hacia el disco mediante una plataforma vibratoria

En esta sección se realiza el diseño, prueba mediante un prototipo, cálculo y dimensionamiento necesario para proveer a la máquina de este elemento. Por último se implementó una tolva de menores costos que provea un caudal fijo de cápsulas suficiente para permitir hacer una simulación completa de la máquina durante ciclos cortos de tiempo.

Se pensó en una plataforma soportada por 4 resortes y con un vibrador que genere la oscilación, produciendo el avance de las cápsulas. El esquema propuesto se muestra en la siguiente figura, siendo  $\omega$  la velocidad de giro de la masa descentrada que regula la velocidad de avance de las cápsulas a través de la plataforma



**Imagen 18: Esquema plataforma vibratoria**

Para comprobar el buen funcionamiento del sistema se construyó una tolva de dimensiones reducidas, al cual se le agregó un vibrador para provocar el movimiento de las cápsulas, el modelo que se ensayo es el mostrado en la figura



**Imagen 19: Prototipo plataforma vibratoria**





Con una garganta de salida cuadrada de 100mm de lado y una distancia entre el borde de la tolva y la plataforma de 15mm, se obtuvo un flujo variable de cápsulas de entre 100 y 300 cápsulas por minuto, alimentando el motor con 1 y 3V respectivamente. Una vez comprobados los resultados y aprovechando el hecho de que los valores obtenidos resultan útiles para la máquina diseñada (ya que la velocidad de cuenta sería de 180 cápsulas por minuto) se procedió a extrapolar los valores a una tolva utilizable en producción.

1°. **Garganta de salida:** se decidió continuar con iguales dimensiones, ya que al pretenderse la misma velocidad de salida no es un valor que deba variar, por lo tanto seguirá siendo un cuadrado de 100x100mm separado de la plataforma 15mm

2°. **Plataforma:** nuevamente es un elemento que no debe variar dimensionalmente, pero si el material de construcción, que deberá ser acero inoxidable, por estar en contacto con los medicamentos. Por esto variará el peso del mismo y dado que es uno de los elementos que influye en la magnitud de la oscilación, se debe tener en cuenta. Tomando las dimensiones del prototipo de ensayo, se realizaron los siguientes cálculos para extrapolarlas a la plataforma de acero inoxidable y obtener las dimensiones de la masa a vibrar.

**En madera:**

$$P_p = (2 \times P_{bo}) + P_{ba} = [(2 \times A_{bo} \times L_{bo}) + A_{ba} \times L_{ba}] \times e \times \rho_{ma}$$

$$P_p = 2[(2 \times 0.015[m] \times 0.2[m]) + 0.1[m] \times 0.2[m]] \times 0.003[m] \times 700 \left[ \frac{Kg^3}{m} \right]$$

$$P_p = 0.055[Kg]$$

**En acero inoxidable:**

$$P = (2 \times P_{bo}) + P_{ba} = [(2 \times A_{bo} \times L_{bo}) + A_{ba} \times L_{ba}] \times e \times \rho_{ac}$$

$$P = 2[(2 \times 0.015[m] \times 0.2[m]) + 0.1[m] \times 0.2[m]] \times 0.003[m] \times 7800 \left[ \frac{Kg^3}{m} \right]$$

$$P = 0.6[Kg]$$

*Pp: peso plataforma prototipo*

*Lbo: largo borde*

*P: peso plataforma*

*Lba: largo base*

*Pbo: peso bordes*

*e: espesor*

*Pba: peso base*

*ρma: peso específico madera*

*Abo: ancho borde*

*ρac: peso específico acero*

*Aba: ancho base*



3°. **Vibrador:** en el caso de prueba (prototipo) este se construyo con un vibrador de teléfono celular, pero deberá reemplazarse con uno de mayor tamaño que mantenga la misma relación de peso con la base. Entonces

Modelo:

$$P_m = \frac{\pi \times r_m^2}{2} \times L_m \times \rho$$

$$P_{mm} = \frac{\pi \times 0.005^2 [m]^2}{2} \times 0.005 [m] \times 7800 \left[ \frac{Kg^3}{m} \right] = 0.0015 [Kg]$$

$$R = \frac{P_{mm}}{P_p} = \frac{0.0015 [Kg]}{0.055 [Kg]} = 0.27$$

Diseño:

$$P_{md} = R \times P = 0.27 \times 0.6 [Kg] = 0.016 [Kg]$$

Tomando igual diámetro para no afectar la excentricidad y por lo tanto la magnitud de la vibración el largo de la masa excentrica sería de

$$L_d = \frac{2 \times P_{md}}{\pi \times r_d^2 \times \rho} = \frac{2 \times 0.016 [Kg]}{\pi \times 0.005^2 [m]^2 \times 7800 \left[ \frac{Kg^3}{m} \right]} = 0.05 [m]$$

Que resulta en un valor excesivo, entonces consideramos aumentar el diámetro y por lo tanto la excentricidad al doble, debiendo duplicar la relación de pesos y por lo tanto reducir el peso de la masa excentrica a la mitad  $P_m = 0.008 [Kg]$  entonces

$$L_d = \frac{2 \times P_m}{\pi \times r_d^2 \times \rho} = \frac{2 \times 0.008 [Kg]}{\pi \times 0.01^2 [m]^2 \times 7800 \left[ \frac{Kg^3}{m} \right]} = 0.0065 [m]$$

Lo que dio como resultado un espesor mas adecuado

$R$ : relación de pesos  
modelo/diseño

$r_m$ : radio masa modelo

$r_d$ : radio masa diseño

$P_{mm}$ : peso masa modelo

$L_m$ : espesor masa modelo

$P_{md}$ : peso masa diseño

$L_d$ : espesor masa diseño

$P_p$ : peso plataforma modelo

$\rho$ : peso especifico acero

$P$ : peso plataforma diseño



4°. **Depósito:** para dimensionar el depósito se tomó como referencia el ancho y profundidad de la estructura de la máquina, que teniendo un disco de  $\varnothing=380\text{mm}$ , se pensó en un cuadrado de 400mm de lado. Con el motivo de hacer una máquina modular se adoptaron estas medidas, quedando como incognita la altura.

Se tuvo en cuenta, al momento de posicionar la apertura inferior, que las cápsulas cayeran luego de la compuerta de salida en el diseño de la máquina y para hacer una garganta que reduzca la sección se otorgaron 150mm de altura para evitar atascamiento. Para calcular la altura restante se decidió proporcionar una autonomía de 3 hs de funcionamiento. Teniendo en cuenta que la velocidad de cuenta máxima aproximada es de 180 cápsulas por minuto, haciendo  $3 \times 60 \times 180$  nos dice que deberá tener capacidad para albergar 32400 cápsulas.

Para saber el volumen que ocupan las cápsulas, se colocaron en dos cajas, una de 50x50x90 mm y otra de 45x70x100 mm, albergando 168 y 232 cápsulas respectivamente, dando una tasa de llenado de

$\frac{168}{50 \times 50 \times 90} = 7.46 \times 10^{-4} [\text{capsulas}/\text{mm}^3]$	$\frac{232}{45 \times 70 \times 100} = 7.55 \times 10^{-4} [\text{capsulas}/\text{mm}^3]$
--	---

Tomando como tasa de llenado  $7.5 \times 10^{-4} [\text{cápsulas}/\text{mm}^3]$ , un valor medio, nos da como volumen necesario  $\frac{32400}{7.5 \times 10^{-4}} = 43200000 [\text{mm}^3]$

Siendo el volumen un tronco piramidal

$$V = \frac{h}{3} (A_M + A_m + \sqrt{A_M \times A_m})$$

Para la reducción de sección el volumen será

$$V = \frac{100}{3} (400^2 + 100^2 + \sqrt{400^2 \times 100^2})$$

$$V = 7000000 [\text{mm}^3]$$

Quedando para la parte cubica el volumen

$$V = 43200000 - 7000000 = 36200000 [\text{mm}^3]$$

Resultando en una altura de

$$h = \frac{36000000}{400^2} = 226[\text{mm}] \cong 200[\text{mm}]$$

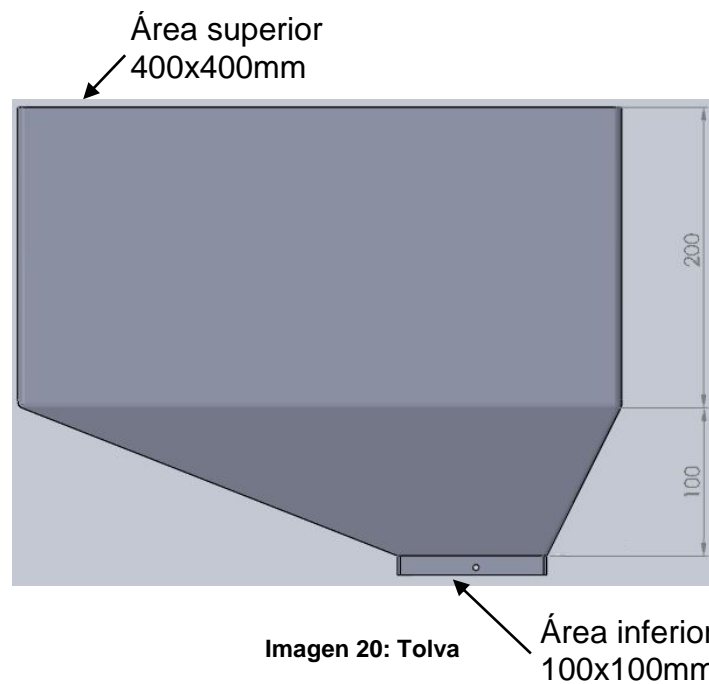
*V: volumen de tronco piramidal*

*AM: área mayor tronco piramidal*

*h: altura tronco piramidal*

*Am: área menor tronco piramidal*

La siguiente imagen representa dimensionalmente la tolva



5°. **Resortes soporte:** para soportar la plataforma vibratoria con el motor se diseño un soporte que consta de 4 resortes, el limitante para la selección de los mismos es que la diferencia de compresión no sea mayor a 2mm entre la tolva vacía y llena de cápsulas. Para obtener el valor de fuerza que harán las cápsulas se pesaron en una balanza, con los siguientes resultados:

Cantidad de cápsulas	Peso [grs]	Peso unitario [grs]	Cantidad de cápsulas	Peso [grs]	Peso unitario [grs]
50	27	0.54	200	105	0.525
100	48	0.48	300	157	0.52



Partiendo de aquí se tomó como peso por cápsula 0.5grs. y siendo que el volumen de cápsulas máximo que soportarán los resortes será el de la columna de área 100x100mm y altura 300mm, debido a que es el área de apertura de la salida y la altura total de la tolva

$$Vol = 100^2 \times 300 = 3000000[mm^3]$$

Entonces tomando la tasa de llenado de las cápsulas, obtendríamos una estimación de la cantidad que entrarían

$$N = Vol \times \text{tasa de llenado} = 3000000 \times 7.5 \times 10^{-4} = 2250 \text{ capsulas}$$

Las que representarían un peso sobre los resortes de

$$P_N = N \times P_U = 2250 \times 0.5 = 1125[grs] \cong 1.2[Kgr]$$

Por lo que el factor de compresión de cada resorte debería ser

$$K = \frac{P_N/n}{d} = \frac{1.2[Kgr]/4}{2[mm]} = 0.15[Kgr/mm]$$

## **Prototipo**

Finalizados los ensayos correspondientes y logradas las especificaciones de una tolva a ser construida para el diseño final de la máquina, se implementó sobre el prototipo una tolva de menores dimensiones y construcción más rudimentaria, con el único objetivo de proveer caudal cercano a las 200 cápsulas por minutos durante cortos períodos de tiempo. Simulando feacientemente el caudal y zona de descarga de las cápsulas a ser proporcionado por la tolva diseñada para la máquina y haciendo posible el funcionamiento de sistema de cuenta y envasado a los fines de una muestra de funcionamiento.

En la imagen siguiente se muestra la tolva adosada al prototipo



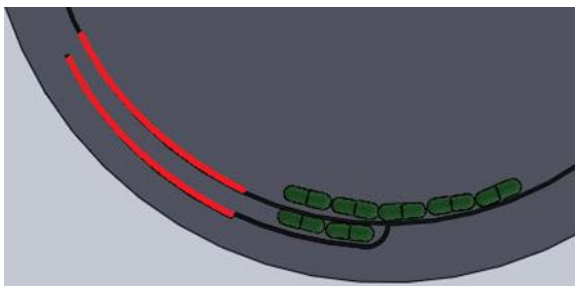
**Imagen 21: Tolva prototipo**

## **Dispositivo de cuenta**

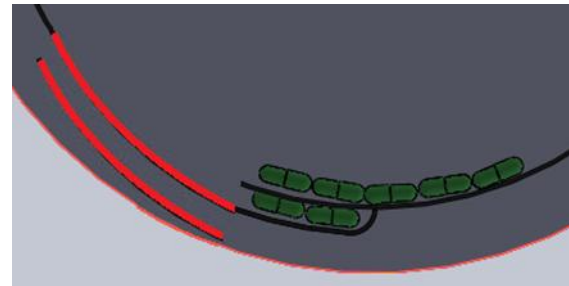
Se considera dispositivo de cuenta al conjunto sensor de cuenta, PLC y compuerta, ya que los tres influyen en el tiempo de actuación y por lo tanto se deberán coordinar para lograr que al momento de apertura/cierre de la compuerta no se filtren cápsulas desembocando en una cuenta errónea o en una cápsula rota por el cierre de la compuerta.

En esta sección se describirán los ensayos efectuados a los fines de obtener un conjunto eficaz de cuenta y al final el sistema adoptado y la puesta en funcionamiento del mismo en el prototipo.

Teniendo en cuenta la forma de separación de las cápsulas dentro del disco, que termina con una fila de las mismas en un canal separado, se pensó que la forma más efectiva de compuerta sería la de un canal de salida desplazable, este diseño permite la salida de las cápsulas hacia los frascos o la continuidad de las mismas dentro del disco y en ambas posiciones no genera un cambio brusco de la dirección que traen. La siguiente figura muestra un esquema de la compuerta en ambas posiciones



Con la compuerta abierta las cápsulas pueden abandonar el disco



Con la compuerta cerrada las cápsulas retornan al giro dentro del disco

**Imagen 22: Compuerta abierta/cerrada**

Como primera medida se buscó lograr una cuenta correcta mediante el conjunto sensor óptico/PLC, para lo cual se calcularon los tiempos disponibles para la actuación. Para una aproximación teórica se asumió una distancia entre cápsulas pegadas (caso más desfavorable) de 4mm entre ellas, tomando como justificación que debido a la curvatura de las cápsulas se produce en este sector una reflexión de la luz hacia otro lugar y no de vuelta al sensor, como se muestra en la figura (la zona entre líneas azules es el área de no sensado de la cápsula)

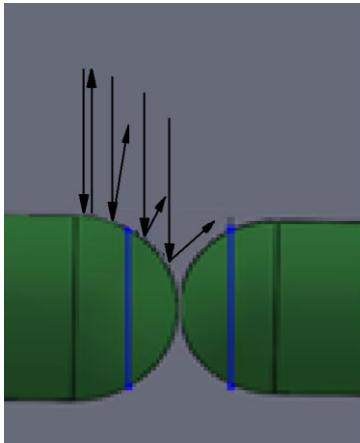


Imagen 23: Rebote haz de luz del sensor

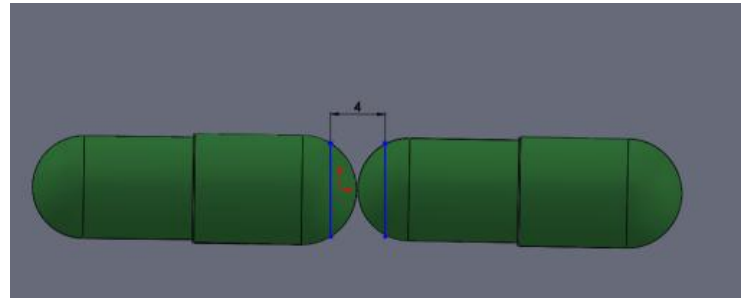


Imagen 24: Longitud mínima de no detección

Con esta distancia y teniendo en cuenta la velocidad de salida del conjunto motor y caja de reducción de 26 RPM y el radio de la circunferencia por donde giran las cápsulas de 170mm (sobre el aro de contención), el tiempo en que el haz de luz impactará esta zona, suponiéndolo puntual, será de:

$$t = \frac{d}{\frac{2\pi \times r}{60} \times N} = \frac{4}{\frac{2\pi \times 170}{60} \times 26} = 8.64 \times 10^{-3} [s] = 8.64 [ms]$$

Este es el tiempo que el sensor no se encontrará excitado, y por lo tanto es con el que cuenta el PLC para leer este estado del sensor. Teniendo en cuenta que el tiempo de ciclo promedio de un PLC ronda los 5ms, se supuso que cuenta con tiempo suficiente para lograr la cuenta, dado que cualquier sensor es capaz de contar con una frecuencia mayor a 1000Hz, pero la aproximación del haz de luz del sensor a un haz puntual deberá ser muy buena.

Para seleccionar un sensor y su configuración que permita llevar a cabo la cuenta correctamente se ubicaron diferentes sensores en el canal del disco cerca de la compuerta y se conectaron primero a un contador electrónico (y no el PLC), con una velocidad de cuenta de 10KHz (tiempo de ciclo 0.1ms), induciendo que de darse una cuenta errónea la causa sería un mal acuse del sensor. Una vez obtenido un buen desempeño con el contador, se conectaron al PLC y de continuar con el buen funcionamiento se confirma la selección del conjunto.





Los siguientes fueron los sensores ensayados junto con una descripción de los mismos y los resultados del ensayo.

- **Amplificador óptico efector200 OB5019 con cable fibra óptica con sensor E20645(refractivo)**

Este conjunto produce un haz de luz redondo de aproximadamente 3mm de diámetro, pero como el ancho del receptor es de 1mm se consideró posible su buen funcionamiento. Esto no se vio refutado luego de realizar varias pruebas, ya que no se logró realizar una cuenta con un error menor al 10% con el contador electrónico, incluso variando la sensibilidad del receptor a valores mínimos, por lo que se indujo que el sensor no era capaz de ver fehacientemente el cambio de cápsulas.

- **Sensor Optex BGS-ZL30P**

Este sensor posee un haz de luz rectangular de 5x1mm, por lo que ubicándolo correctamente se logró obtener una clara mejoría en la respuesta ante el cambio de cápsulas, observando con el contador electrónico una exactitud del 100%. El problema surge al conectar este sensor al PLC, este conjunto no pudo lograr un error menor al 5%. La causa de este se atribuyó al tiempo de ciclo del PLC que al ser mayor al tiempo que se encontraba el sensor en cada estado omitía pasajes por cero.

- **Amplificador óptico efector200 OBF500 con 2 cables fibra óptica con sensor E20648(de ranura)**

Como el inconveniente del caso anterior fue el tiempo que tiene el PLC para leer el cambio de señal, y como el tiempo de pasaje del total de una cápsula delante del sensor es el siguiente

$$t = \frac{d}{\frac{2\pi \times r}{60} \times N} = \frac{22}{\frac{2\pi \times 170}{60} \times 26} = 47.5 \times 10^{-3} [s] = 47.5 [ms]$$

Se tiene tiempo suficiente para asegurar la lectura por parte del PLC, pero se debe sostener el estado 0 del sensor. Para esto se utilizó el amplificador óptico efector200 OBF500 que tiene similares características al del primer ensayo, pero con la posibilidad de sostener el cambio de estado un tiempo configurable.

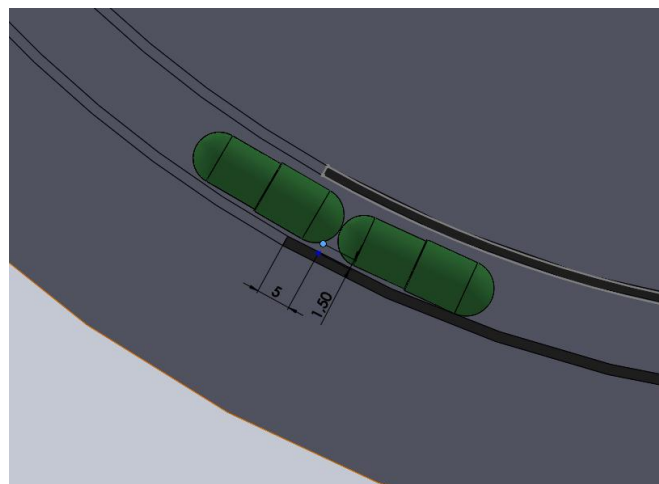
Para poder utilizar esta característica, primero se debía evitar el error de cuenta que tenía el sensor similar que fue ensayado al principio. Para esto se utilizó una configuración diferente, se colocó el emisor a un lado y el receptor del otro, cambiando la configuración a lector de ranura y no refractivo como los anteriores.

Con esta configuración y sin activar aún el retardo se realizaron 15 cuentas de 40 cápsulas con el contador electrónico, verificando una certeza del valor obtenido del 100% se decidió proceder a la segunda prueba, con el PLC, para lo que se activó el retardo en 15ms (valor conservador para los 6ms de ciclo del PLC, pero que ayuda a evitar una cuenta errónea por ruidos). Repitiendo las 15 cuentas con 40 cápsulas se obtuvo nuevamente un 100% de cuentas correctas, decidiéndose adoptar este conjunto y pasar a la última etapa del ensayo, que era agregar la actuación de la compuerta.

- **Apertura/cierre de compuerta**

Para obtener un manejo correcto de la apertura y cierre de la compuerta por parte del PLC se ejecutaron los siguientes pasos

- 1º. Se realizaron aperturas y cierres de manera manual, mediante un pulsador y relé para observar los tiempos de actuación, obteniéndose que mientras que el cierre era prácticamente instantáneo, la apertura demoraba un tiempo considerablemente mayor
- 2º. Teniendo en cuenta el dato anterior, se decidió que el contador sólo regule el cierre de la compuerta, colocándose en distancias variables entre 2-15mm. Obteniéndose los mejores resultados en la posición mostrada en la figura



**Imagen 25: Posición sensor**

Con esta posición se repitieron 15 cuentas de 10 cápsulas, habiendo más de 50 en el disco para tratar de que haya dos cápsulas contiguas al momento de cierre de la compuerta, obteniéndose un buen cierre, ya que lo hacía en el momento correcto (dejaba pasar la cantidad correcta de cápsulas y no se daba la rotura de las cápsulas que eran dejadas afuera)

- 3°. Teniendo en cuenta el mayor tiempo tomado por la apertura, se calculó el arco que recorren las cápsulas en 0.5s

$$d = t \times \frac{2\pi \times r}{60} \times N = 0.5 \times \frac{2\pi \times 170}{60} \times 26 = 230[mm]$$

Como este arco representa aproximadamente 90°, se colocó un sensor en esta posición, que no deberá detectar cápsulas durante 0.5s (indicando el canal vacío) para permitir la apertura de la compuerta e iniciar la cuenta. Con esto se evita contar cápsulas que sigan girando en el disco por haber pasado mientras la compuerta estaba en proceso de apertura. La ubicación relativa de ambos sensores se muestra en la siguiente figura

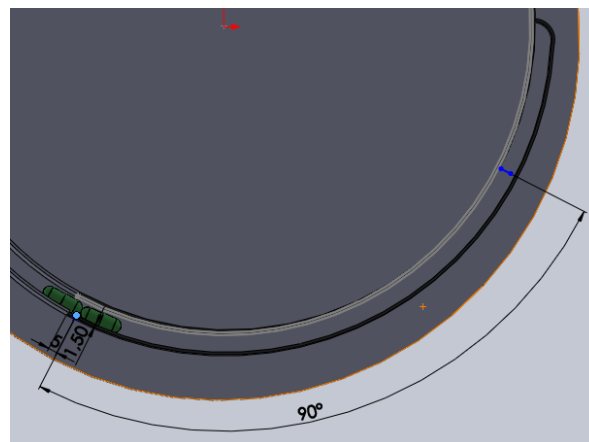
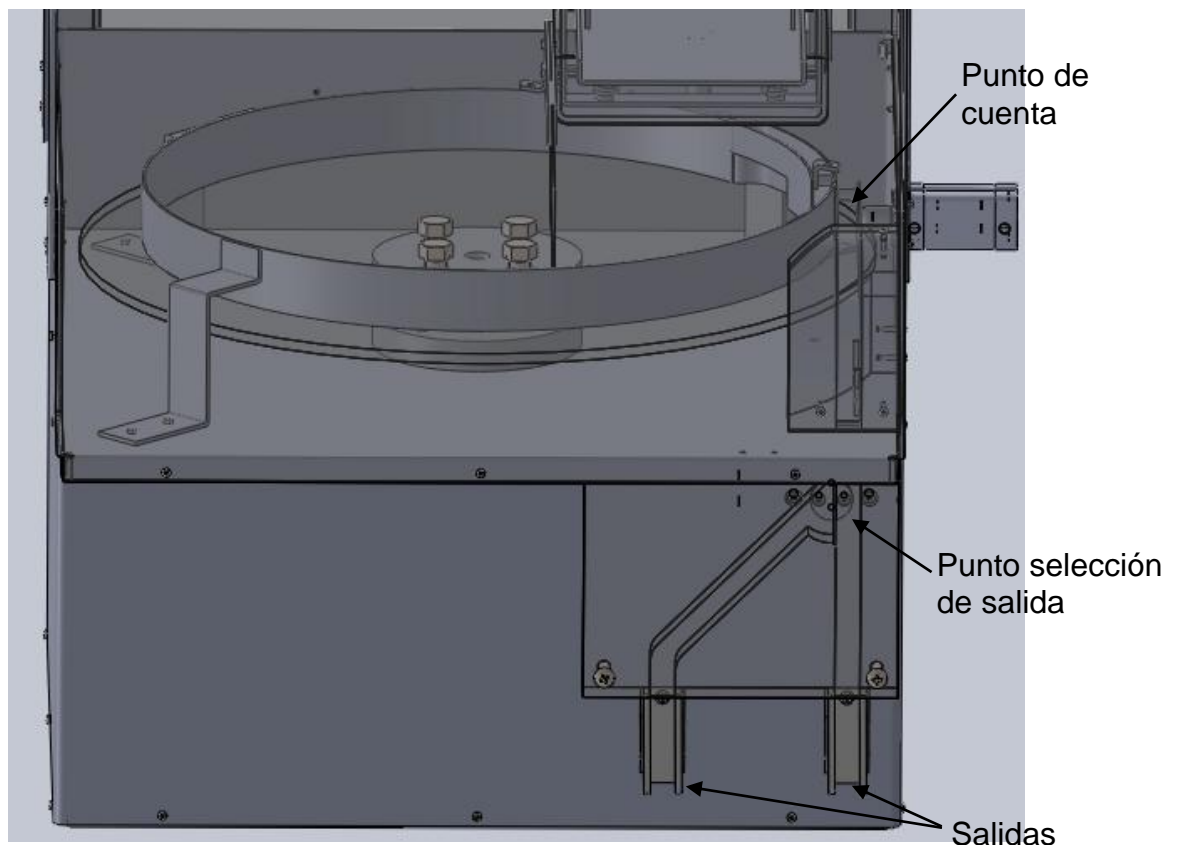


Imagen 26: Arco de camino libre

## **Dispositivo de selección de canal**

A los fines de dar una mayor productividad a la máquina se adoptó un sistema de llenado con dos salidas. Esto permite la presencia de dos frascos, dando tiempo al operario de renovar el frasco lleno mientras el otro se encuentra en proceso, con esto se obtiene un mayor coeficiente de utilización, ya que podemos mantener la máquina en una cuenta ininterrumpida.



**Imagen 27: Desvío de capsulas**

Para esto se construyó un circuito mecánico que se divide en dos caminos por medio de una compuerta accionada por un electroimán, encargada de seleccionar el frasco de destino de las cápsulas. La implementación de este sistema depende de la confiabilidad que se pueda otorgar al momento en que se realiza el cambio, dado que la cuenta se realiza en una posición anterior a la compuerta. Para otorgar esta garantía existen dos soluciones:

- Garantizar el tiempo del recorrido de la cápsula desde el sensor de cuenta y la compuerta e introducirlo en el programa del PLC

- Realizar una recuenta luego de la compuerta y dar una señal de rechazo en caso de no coincidir (implicando que pasó una cápsula de más o no alcanzo a transitar la compuerta la última cápsula contada)

El segundo método tiene como inconveniente que no es preventivo (ya que sólo acusa el error) aconsejando su utilización sólo como un control. Por este motivo se decidió implementar en el prototipo el primer método para permitir un funcionamiento más eficiente de la máquina, de todos modos de ser solicitado el recorrido contará con espacio suficiente para agregar los sensores de control, de ser requeridos.

### **Modificación mecánica de la máquina**

Con el objeto de garantizar un tiempo constante en el recorrido de la cápsula desde el sensor hasta la compuerta que selecciona el frasco de destino se introdujo un canal paralelo al círculo de contención de las cápsulas dentro del disco, otorgando un camino libre de obstáculos para las cápsulas que pasaron por la ranura de salida y dando espacio suficiente para que alcancen su velocidad máxima. Entonces sin importar que hayan chocado al momento de pasar por la ranura y haber reducido su velocidad a cero, o haber pasado sin inconvenientes y llevar la velocidad del disco, todas las cápsulas se encontrarán, al pasar por el sensor que las cuenta, con la velocidad del disco y por lo tanto todas las cápsulas demorarán el mismo tiempo en recorrer el espacio entre éste y la compuerta de selección de cápsulas.

Para calcular el trayecto que deberá recorrer una cápsula libre de obstáculos para alcanzar la velocidad de giro del disco, se tuvo en cuenta el rozamiento con el disco girando que tiende a acelerarlas y con la pared fija (que las contiene tangencialmente) que opone resistencia al movimiento

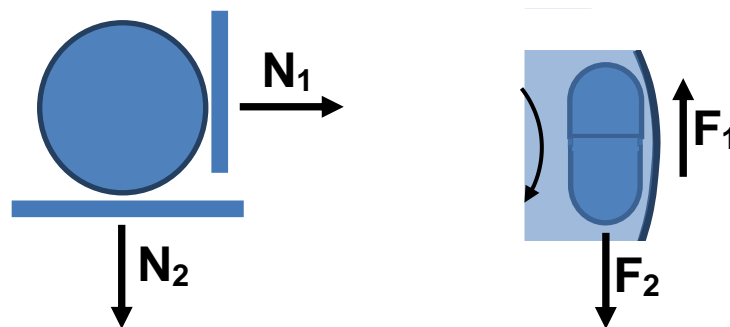


Imagen 28: Normales y fuerzas en una cápsula

$$F_1 = \mu_1 \times N_1 = \mu_1 \times m\omega^2 r$$

$$F_2 = \mu_2 \times N_2 = \mu_2 \times mg$$

Para saber con qué rapidez se acelerará la cápsula

$$F_2 - F_1 = ma$$

$$\mu_2 \times mg - \mu_1 \times m\omega^2 r = ma$$

Si suponemos que el disco y la pared están hechos del mismo material  $\mu_2 = \mu_1 = \mu$  obtenemos que

$$\mu m \times (g - \omega^2 r) = ma$$

$$\mu \times (g - \omega^2 r) = a$$

Con esta ecuación obtenemos la aceleración y para ser conservativos tomaremos a  $\omega$  como constante e igual a la velocidad de giro del disco, con esto compensaremos el error que podamos tener al adoptar un coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) aproximado.

Sabiendo que  $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$  dado que queremos saber el recorrido que debe hacer la cápsula para llegar a la velocidad máxima  $x_0 = 0$  y para tener en cuenta la peor condición tomamos  $v_0 = 0$  quedando entonces

$$x = \frac{1}{2} at^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2x}{a}}$$

Para relacionar este recorrido con la velocidad final y no con el tiempo vamos a necesitar otra ecuación

$$v = at = a \sqrt{\frac{2x}{a}} = \sqrt{2xa}$$

$$x = \frac{v^2}{2a}$$

Reemplazando la aceleración por la ecuación obtenida como relación de los rozamientos obtenemos

$$x = \frac{v^2}{2\mu \times (g - \omega^2 r)}$$

Siendo  $v = \frac{2\pi r \times N}{60}$  y  $\omega = \frac{2\pi \times N}{60}$  queda:

$$x = \frac{\left(\frac{2\pi r \times N}{60}\right)^2}{2\mu \times \left(g - \left(\frac{2\pi \times N}{60}\right)^2 r\right)}$$

Por lo que obteniendo  $\mu$  daríamos con una longitud que asegure la velocidad máxima de las cápsulas. Para obtener el coeficiente de rozamiento de una cápsula con el acrílico del plato, se realizó una experiencia que consistió en colocar sobre un soporte de acrílico una cápsula e inclinarlo hasta lograr el deslizamiento de la misma

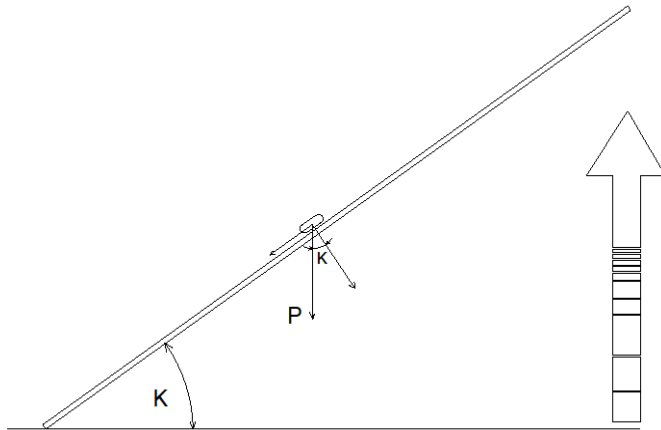


Imagen 29: Esquema fuerzas rozamiento

Mediante esta experiencia el ángulo del cono de rozamiento del conjunto que se observó fue aproximadamente  $K=17^\circ$ , como la relación entre  $K$  y  $\mu$  es:

$$\tan(K) = \mu$$

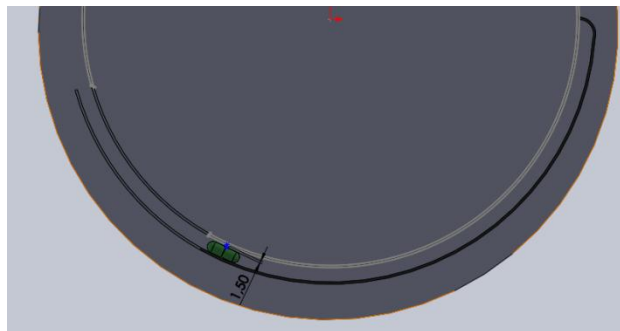
$$\tan(17) = 0.3 = \mu$$

Conocido el valor de  $m$  solo queda calcular el largo del canal:

$$x = \frac{\left(\frac{2\pi r \times N}{60}\right)^2}{2\mu \times \left(g - \frac{2\pi \times N^2}{60} r\right)}$$

$$x = \frac{\left(\frac{2\pi \times 0.17 \times 26}{60}\right)^2}{2 \times 0.3 \times \left(9.8 - \left(\frac{2\pi \times 26}{60}\right)^2 0.17\right)} = 0.04m = 40mm$$

Una vez conocida la distancia necesaria para alcanzar la velocidad de giro del disco, siendo esta menor que la requerida por la compuerta para tener tiempo de abrirse sin apretar ni perder cápsulas contadas, se construyó un canal requerido por el tiempo de actuación de la compuerta, con espesor 1.5mm más grande que el diámetro de una cápsula a los fines del prototipo, pero el largo de canal calculado será utilizado para el diseño de la máquina a construir, dado que la compuerta será accionada por un mecanismo de igual velocidad tanto para la apertura como cierre de la misma.



**Imagen 30: Canal de camino libre**

Esta construcción logra evitar los choques entre cápsulas de costado, sólo permite el caso de choque entre una cápsula ingresante con mayor velocidad a la que posee una que se encuentra acelerándose en el canal, como resultado de este evento la cápsula chocada se acelera, alcanzando la velocidad de giro del disco en una distancia menor, mientras que la cápsula que produce el choque, y pierde velocidad, no puede reducir la misma a un valor menor al que hubiera obtenido de ingresar al canal con  $v=0$  y por lo tanto al pasar por el sensor debería tener la velocidad del disco.



A modo de aclaración citamos un ejemplo: si chocan dos cápsulas en un el punto correspondiente a una velocidad de 0.2m/s para una cápsula que arranca el recorrido dentro del canal en reposo, siendo la velocidad de cápsula que provoca el impacto 0.4m/s, las situaciones límite que podrían darse son: un choque perfectamente elástico o uno perfectamente plástico y los resultados serían los siguientes:

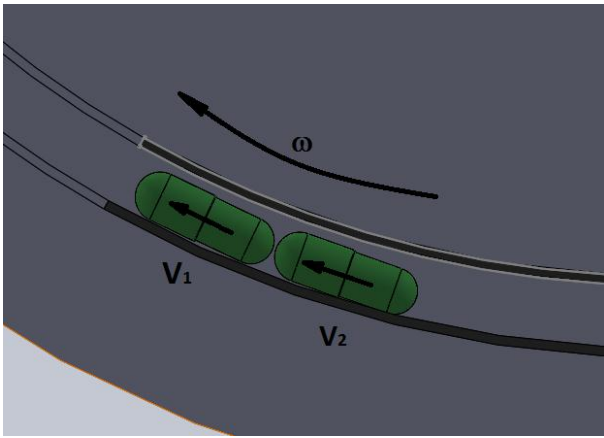
	Estado inicial: $V_1 = 0.2\text{m/s}$ $V_2 = 0.4\text{m/s}$
	Estado final: $V_1 = 0.4\text{m/s}$ $V_2 = 0.2\text{m/s}$ Suponiendo choque <b>elástico</b>
	Estado final: $V_1 = 0.3\text{m/s}$ $V_2 = 0.3\text{m/s}$ Suponiendo choque <b>plástico</b>

Imagen 31: Casos ideales de choques entre cápsulas

Como observamos en el peor de los casos la cápsula frenada queda con la velocidad que traería de haber arrancado con  $V=0$  al iniciar su recorrido por el canal y por lo tanto terminará el recorrido del canal con la velocidad del disco.

Teniendo en cuenta que en la práctica solo es posible un caso intermedio, se cumple el hecho de que las cápsulas se aceleraran a la velocidad del disco, como máximo, en la distancia correspondiente al largo del canal calculado.

### **Implementación en la programación del PLC**

El tiempo constante de una cápsula en hacer el recorrido por sí solo no logra el buen funcionamiento del sistema, sino que para esto se debe lograr a correcta actuación de la compuerta comandada por el PLC. A continuación se describen las adecuaciones realizadas al programa del mismo para lograr la eficacia del sistema.

Lo primero y más simple de tener en cuenta es el tiempo del recorrido de la cápsula que, siendo ahora constante, fue solucionado con el agregado de un temporizador con retardo a la conexión antes de la salida al actuador.

Pero, hecho esto, todavía quedaba pendiente una posibilidad de falla: al cerrarse la compuerta que permite la salida de cápsulas del disco, el choque entre las últimas cápsulas

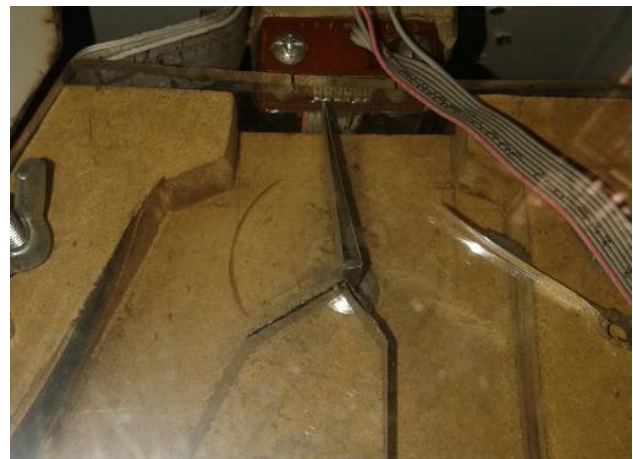
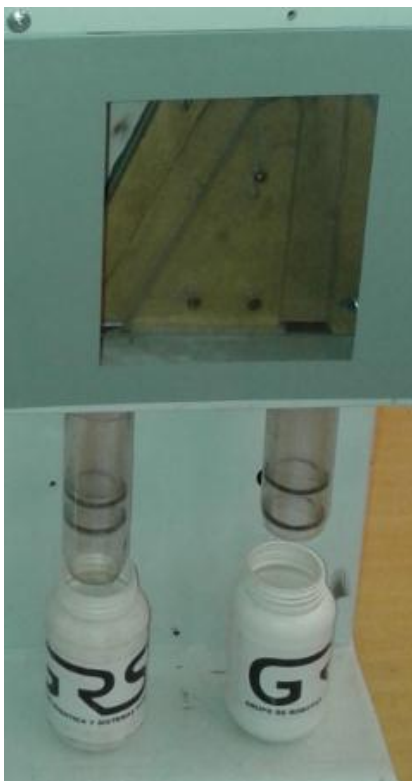
que pasaron y las paredes produce que el tiempo del recorrido sea mayor. Para solventar esto se colocó otro temporizador con retardo a la conexión con el objetivo de impedir el cambio de frasco ni la reapertura de la compuerta de salida de cápsulas durante un tiempo de 2,5s cada vez que se produce un corte en la cuenta (cierre de la compuerta de salida del disco), asegurando que no haya un cambio de frasco ni la necesidad de hacerlo mientras estas últimas cápsulas hayan llegado a destino.

Esta solución se implementó teniendo en cuenta la gran aleatoriedad en el tiempo transcurrido ante este evento, lo que no permite anticipar con certeza el momento en que la última cápsula cruzará la compuerta de selección de canal, teniendo que ofrecer esta garantía mediante el frenado transitorio de la cuenta.

### **Implementación en el prototipo**

Este elemento se construyó en madera, con una tapa de acrílico para poder observar el funcionamiento. La compuerta que desvía las cápsulas se realizó mediante una chapa de metal comandada por un electroimán.

En la siguiente imagen se observa una fotografía de este elemento en el prototipo



**Imagen 32: Desvío de cápsulas en prototipo**

## Capítulo IV – Programación del controlador

### Introducción

Para coordinar los elementos de la máquina se utilizó como un PLC Siemens S7-1200 que posee un puerto Ethernet, 8 entradas y 6 salidas digitales. Utilizando una pantalla táctil SIMATIC Basic Panel de 6” como interfaz hombre-máquina. Este capítulo tiene como objetivo mostrar los motivos de la implementación de este conjunto y mostrar en detalle la programación realizada para los mismos.

La selección del controlador se hizo teniendo en cuenta que deberá administrar los 4 sensores disponibles en el GRSI para el prototipo, que se decidieron utilizar como contador, control de cápsulas en el canal de salida y acuse de presencia de frascos en la salida derecha e izquierda. Por otro lado también administra 4 actuadores, siendo estos dos motores, uno encargado de la vibración de la plataforma de salidas de cápsulas al plato y el otro encargado de proveer el giro al disco que separa las cápsulas, y dos actuadores electromagnéticos lineales encargados de la compuerta de salida y selección de frascos. Por último deberá tener una conexión para la pantalla HMI y una alta velocidad de procesamiento para no perder ningún cambio de estado del sensor de cuenta.

La utilización de la pantalla fue justificada para poder proveer un manejo intuitivo de la máquina, pudiendo proveer a la misma diferentes funciones (explicadas en detalle más adelante), adaptando los mandos a cada una de ellas y limitando el acceso del personal a un grupo de las mismas de acuerdo a su tarea dentro de la empresa. Con esto se logra una mayor funcionalidad, se evitan daños por el acceso de operarios no calificados y otorga como resulta una mayor productividad y mejor adaptación de la máquina al ambiente de trabajo de una empresa.

Para realizar la programación y coordinación del conjunto PLC-pantalla se utilizó el software TIA Portal v12 de SIEMENS.

## **SIMATIC Basic Panel de 6”**

El panel utilizado en la construcción del prototipo es el siguiente:



**Imagen 33: Pantalla HMI**

En él se crearon una serie de pantallas que permitan diferentes niveles de acceso y funcionalidades de la máquina según la función del personal a manipularla. Se tuvieron en cuenta las siguientes jerarquías dentro de la empresa:

- Operario
- Líder de operaciones
- Mantenimiento
- Gerencia

Las pantallas correspondientes al **operario** le permiten al mismo dos modos de utilización de la máquina:

- Como contador automático: llenando una cantidad N de frascos con M cápsulas por ciclo de operación, siendo N y M cantidades prefijadas por el líder de operaciones.
- Como contador manual, simplemente contando las cápsulas que salen de la máquina realizando el cambio de envases en la salida de forma manual o colocando una bandeja y sin reemplazarla hasta que termine el proceso.

Estas funciones se pensaron suponiendo que la primera sería utilizada como función ordinaria en la producción, pero que se podría requerir de la segunda opción para hacer el vaciado en frascos o bandejas de mayor tamaño que el envase regular entre ciclos de producción con diferentes cápsulas o para la limpieza general de la máquina.

El **líder de operaciones** tiene acceso, además de las funciones anteriores, a la posibilidad de cambiar las cantidades de cápsulas que se deben colocar por frasco y a la cantidad de frascos por ciclo de operación (N y M). Se adjudica esta función suponiendo que es ésta la persona que cuenta con la planificación de la producción, pero tiene la capacidad de reemplazar un operario en caso de ausencia.

Por otra parte, **mantenimiento** tiene permitido acceder a una pantalla en la que se indique el estado de cada sensor y un pulsador para cada actuador, que activa esta salida sin respetar los ciclos de la máquina en funcionamiento. Por último también tienen acceso a las funciones de los operarios o líderes de operaciones. Estas funciones están pensadas para permitir analizar cada componente de manera independiente y poder encontrar una falla con rapidez. Los accesos de operario y líder de operaciones son otorgados para posibilitar la realización de una prueba en la máquina mediante ciclos cortos y evaluar el desempeño luego de la reparación.

Por último la **gerencia** tiene acceso a una pantalla de registro, en la que se muestra las horas que la máquina estuvo encendida, las horas contando cápsulas, y el porcentaje que representan las horas contando respecto de las que estuvo encendida. Adicionalmente muestra la cantidad de cápsulas y frascos contados y la cantidad que se cuentan por hora de máquina encendida. Estos indicadores fueron pensados para permitir evaluar la productividad y adaptación de la máquina al proceso.

El organigrama de pantallas propuesto fue el siguiente

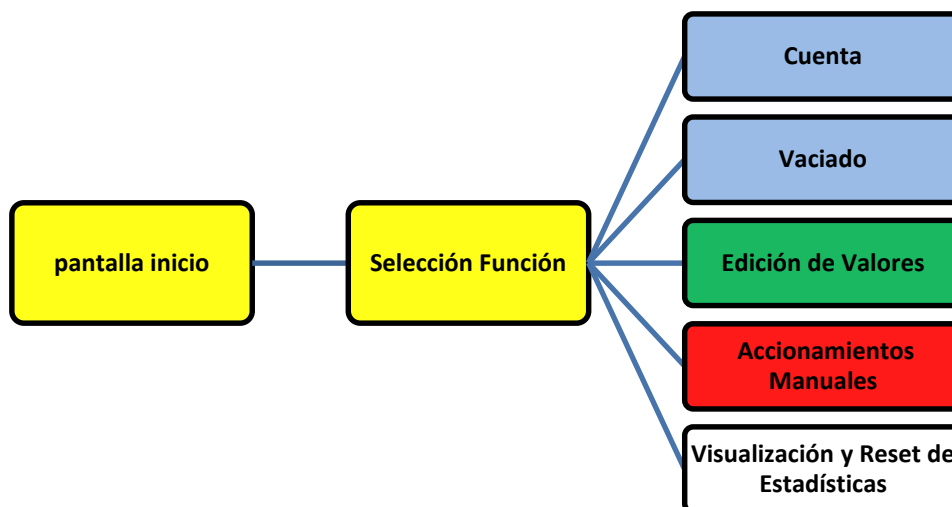






Imagen 34: Esquema de pantallas

Los colores de fondo corresponden a los niveles de acceso correspondiente a cada usuario:

- Operario 
- Líder de operaciones 
- Mantenimiento 
- Gerencia 

Por último realizamos una presentación y descripción de cada una

### **Plantilla común**

Se creó una imagen común a todas las pantallas, en la que se pueden observar:

- La fecha y hora actual en el margen superior derecho
- El nombre de la pantalla en la que se encuentra, centrado en la parte superior
- El logo de la fábrica (facultad en este caso) en el margen superior izquierdo
- Y una tecla en el margen inferior izquierdo que permite el acceso a un visor de avisos, que muestre errores o advertencias en el funcionamiento de la máquina

Esta plantilla se repite en todas las pantallas a excepción de la imagen de stand by

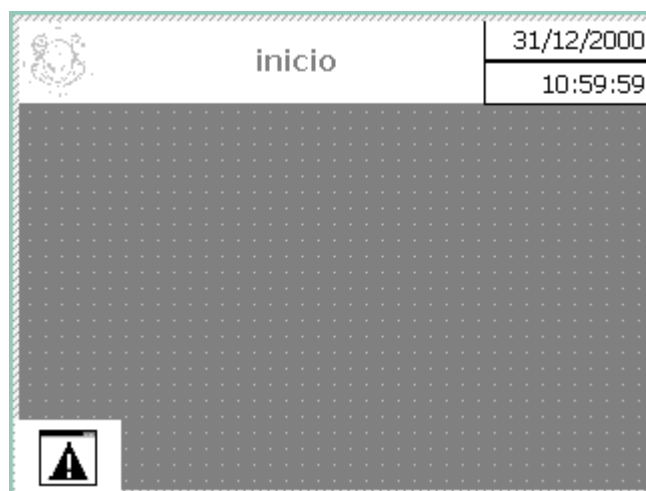


Imagen 35: Plantilla



## **Inicio**

Es una pantalla de stand by que sólo tiene el logo de la empresa (facultad en este caso) y un botón de inicio, para evitar arrancar la máquina de manera accidental por apoyarse en la pantalla



Imagen 36: Inicio


## **Selección de Función (pantalla principal)**


Esta es la pantalla principal, aquí se ofrecen las opciones de entrar a cada una de las funciones de la máquina, y de iniciar o cerrar la sesión con cualquiera de los usuarios y muestra la cantidad de cápsulas y frascos a llenar (N y M) en caso de realizarse un proceso de cuenta.



Imagen 37: Pantalla principal

Se colocaron como accesos táctiles las funciones “cuenta”, “cambio valores” y “vaciado” ya que se prevé que sean las accedidas más frecuentemente, por otra parte se

utilizan las teclas de función para acceder a “mantenimiento” y “registro” identificándolas con los gráficos  respectivamente y no un nombre debido a que el personal con acceso a estas funciones debe ser personal calificado y conocer la máquina.

Al elegir iniciar una sesión de usuario  se verá el siguiente cuadro en el que se colocará el nombre de usuario y su contraseña

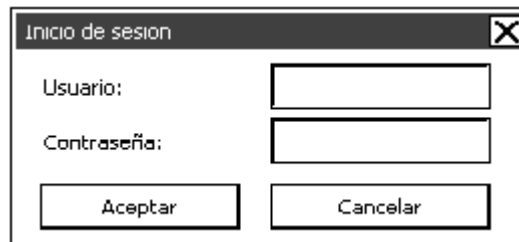



Imagen 38: Inicio sesión

Y al elegir cerrar una sesión  se verá el siguiente aviso para evitar el cierre de manera accidental

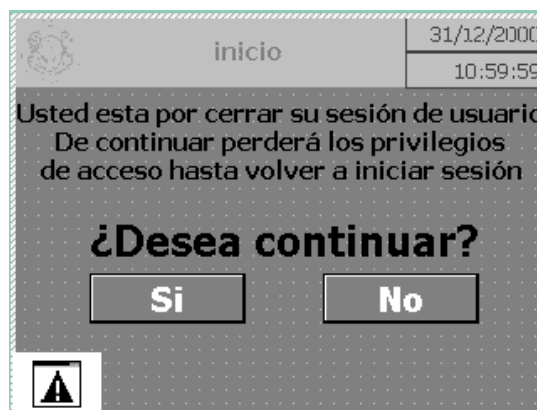





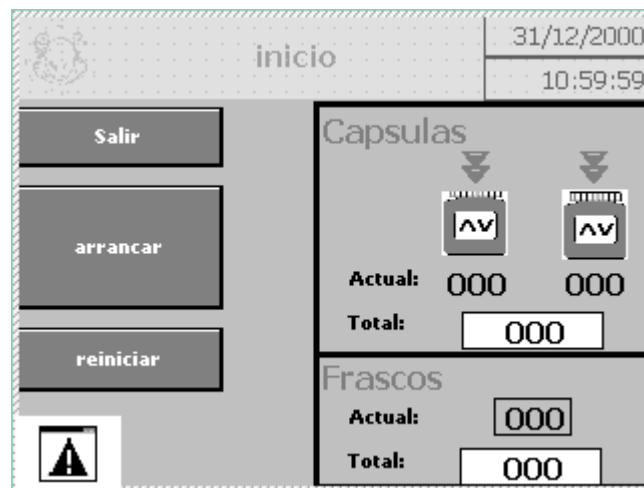
Imagen 39: Cierre sesión

También cuenta con un visor de avisos y alarmas  para mostrar errores de funcionamiento y un botón para volver a la pantalla de “stand by” 



## **Cuenta**

Se accede a esta pantalla presionando el botón cuenta  en la pantalla principal, posee los comandos e indicadores a utilizarse en el proceso de cuenta de manera automática:




**Imagen 40: Cuenta**

- Arrancar/pausa: es el botón que permite iniciar o pausar un ciclo de cuenta. Durante la pausa se detienen el giro del disco, la vibración de la plataforma y se cierra la compuerta de salida de las cápsulas pero no se pierde el valor de la cuenta parcial.
- Reinicio: al pulsar este botón se resetean los valores de la cuenta, volviéndose a iniciar la misma en 0 cápsulas y 0 frascos. Una vez finalizada una cuenta (llegados al valor de frascos objetivo), se debe pulsar este botón para volver a iniciar el ciclo, por otra parte si se pulsa este botón mientras se está llevando a cabo el proceso de cuenta, el mismo vuelve a comenzar.
- Salir: es un botón común a esta pantalla y a la pantalla de vaciado, por lo que se explica más adelante.

Cada vez que se inicia un proceso de cuenta nueva, de haber frascos colocados en la salida, la máquina pedirá reemplazarlos, esto es para eliminar la posibilidad de llenar frascos que ya contengan cápsulas que hubieren quedado de cuentas o pruebas anteriores.

En el sector derecho de la pantalla se encuentran los siguientes indicadores del proceso:

- Dos frascos, uno correspondiente a cada salida. Los mismos pueden no verse, o ser de color blanco o gris oscuro indicando la ausencia de frascos, la presencia de un frasco vacío/llenándose o la presencia de un frasco lleno respectivamente. Si se encuentra el símbolo  en la parte superior del frasco, está indicando que se encuentra en proceso de llenado.
- En la parte inferior de cada frasco se indica la cantidad de cápsulas en el interior del frasco y la cantidad objetivo. Por último, debajo de estos valores se encuentran la cantidad de frascos ya llenos en el proceso de cuenta activo y la cantidad objetivo

### Vaciado

La función de vaciado permite el desalojo completo de cápsulas, sólo contándolas, esto permite cambiar de frascos de manera manual, cuando uno lo considere lleno o la colocación de una única bandeja que colecte la totalidad de las cápsulas.




Imagen 41: Vaciado

En la parte derecha contiene los mismos indicadores que la pantalla de cuenta, con la salvedad que no posee un valor objetivo de cápsulas por frasco y en lugar de brindar información respecto a la cantidad de frascos llenos se muestra el total de las cápsulas desalojadas.

Los pulsadores que se proveen son:

- Arrancar/pausa (general): es el botón que permite iniciar o pausar el proceso de vaciado. Durante la pausa se detienen el giro del disco, la vibración de la plataforma y se cierra la compuerta de salida de las cápsulas pero no se pierde el valor de la cuenta parcial.
- Arrancar/pausa (tolva): permite iniciar o parar la vibración de la tolva, dependiendo si se desea vaciar solo el disco giratorio o si se desea vaciar la tolva también. Un motivo para hacer uno u otro respectivamente Pueden ser el vaciado para la limpieza de los componentes móviles o para la cuenta de cápsulas con distintos medicamentos.
- Cambio frasco: alterna entre ambas salidas de cápsulas en caso de haber frascos vacíos debajo, si se presiona este botón estando la salida inactiva sin frascos, se cierra la compuerta hasta que se coloque uno.
- Reinicio: al pulsar este botón se resetean los valores de la cuenta, volviéndose a iniciar la misma en 0 cápsulas en frascos y total.
- Salir: es un botón común a esta pantalla y a la pantalla de cuenta, por lo que se explica a continuación.

#### ***Salir (botón de pantallas cuenta y vaciado)***

Al pretender abandonar las pantallas anteriores pulsando el botón salir  se presenta la siguiente pantalla para advertirnos que de proseguir perderemos los valores parciales en caso de haber un proceso de cuenta en marcha.

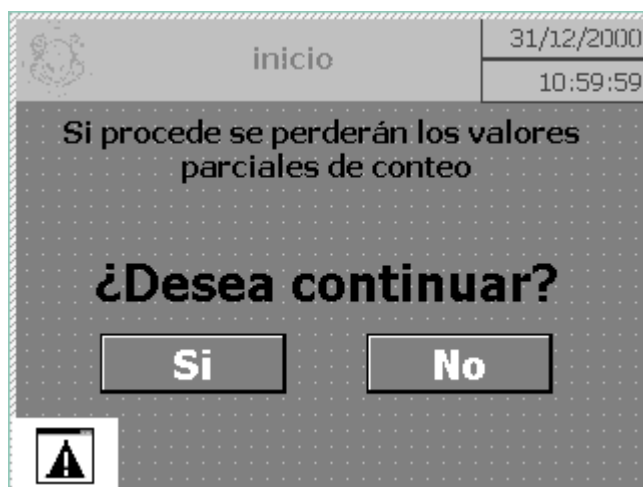


Imagen 42: Confirmación salida

Presionando si se sale a la pantalla principal y presionando no se vuelve a la pantalla anterior (cuenta o vaciado según corresponda) con el proceso en pausa

### **Cambio valores**

En esta pantalla se muestran los valores de cápsulas por frasco y de frascos que se tienen como objetivos en la realización de un proceso de cuenta con la diferencia que aquí se permite acceder a ellos para modificarlos.



Imagen 43: Cambio valores

### **Accionamientos manuales**

Esta pantalla esta provista para personas de mantenimiento, que tienen conocimiento de los peligros de la máquina y requieren de acceso a los sensores y actuadores de manera independiente para poder encontrar la falla más rápidamente. En la misma se encuentran interruptores para cada uno de los actuadores e indicadores para cada uno de los sensores de la máquina, permitiendo la operación sobre ellos sin seguir el ciclo de funcionamiento de la máquina.

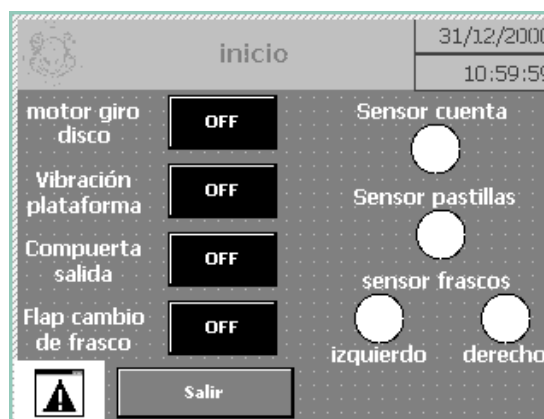


Imagen 44: Mantenimiento

### **Registro:**

En la presente pantalla se muestran los valores representativos del funcionamiento de la máquina.

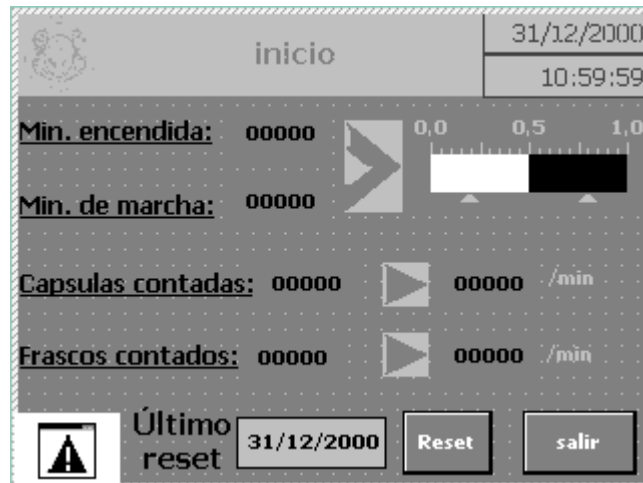


Imagen 45: Registro

Los valores que se muestran y una justificación de los mismos se detalla a continuación:

- Horas encendida: es la cantidad de horas que la máquina estuvo encendida. Este valor es representativo de las horas de marcha del proceso de llenado de cápsulas, ya que se supone que una vez iniciado el mismo la máquina se encuentra encendida. *A los efectos del prototipo debido a los cortos ciclos de operación se indican minutos no horas*
- Horas de marcha: es el tiempo en horas que la máquina se encontró contando cápsulas. *A los efectos del prototipo debido a los cortos ciclos de operación se indican minutos no horas*
- Relación tiempo encendida/en marcha: un valor entre 0 y 1 representativo de la carga de trabajo de la máquina, para permitir saber si trabaja holgada o si representa un cuello de botella del proceso
- Cantidad de cápsulas contadas: muestra la cantidad de cápsulas contadas desde el último reset. Valor representativo de la producción del proceso
- Cantidad de frascos contados: muestra la cantidad de frascos contados desde el último reset. Valor representativo de la producción del proceso
- Cápsulas por hora: da la cantidad de cápsulas promedio contada por hora de la máquina encendida. No es representativo de la velocidad de la máquina, sino de la productividad del proceso, ya que no tiene en cuenta las cápsulas

contadas en proceso de vaciado ni en frascos llenados parcialmente y el tiempo no es de la máquina realizando conteo sino sólo encendida. *A los efectos del prototipo debido a los cortos ciclos de operación se indican minutos no horas*

- Frascos por hora: da la cantidad de frascos promedio contada por hora de la máquina encendida. No es representativo de la velocidad de la máquina, sino de la productividad del *proceso* por los mismos motivos que el indicador anterior. *A los efectos del prototipo debido a los cortos ciclos de operación se indican minutos no horas*

### **Reset (botón)**

Al pretender resetear las estadísticas se presenta la siguiente pantalla para avisarnos que borraremos las estadísticas hasta la fecha, se borran al presionar si, de caso contrario se vuelve a la pantalla de estadísticas.

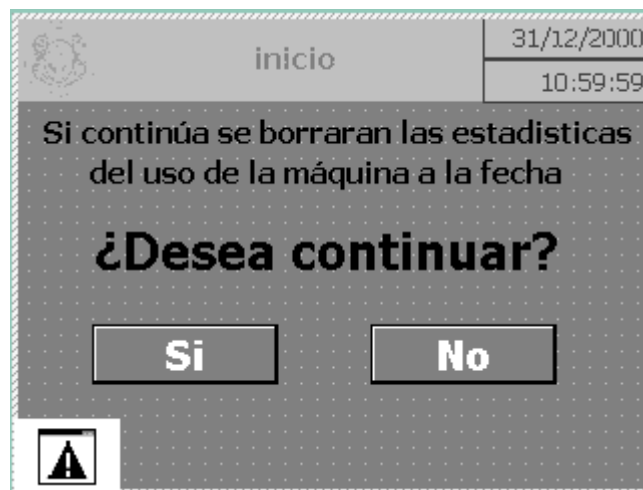


Imagen 46: Confirmación reset

## **PLC Siemens S7-1200**

El elemento coordinador de todos los órganos de la máquina es un PLC Siemens S7-1200, que fue seleccionado por que contiene 6 entradas analógicas, cuatro salidas digitales y un puerto Ethernet, necesario para la comunicación con la pantalla. A los fines del prototipo se utilizaron de la siguiente manera

<b>Entrada</b>	<b>Designación</b>	<b>Salida</b>	<b>Designación</b>
I 0.0	Sensor frasco 1	Q 0.0	Motor
I 0.1	Sensor frasco 2	Q 0.1	Flap
I 0.2	Cuenta	Q 0.2	Compuerta
I 0.3	Control canal	Q 0.3	Tolva
I 0.4	Disponible	--	
I 0.5	Disponible	--	

Para realizar la programación del PLC se dividió el problema en funciones, con una estructura similar a la del esquema de imágenes de la pantalla HMI para facilitar el entendimiento y la creación del programa. La distribución de las mismas se hizo de la siguiente manera:

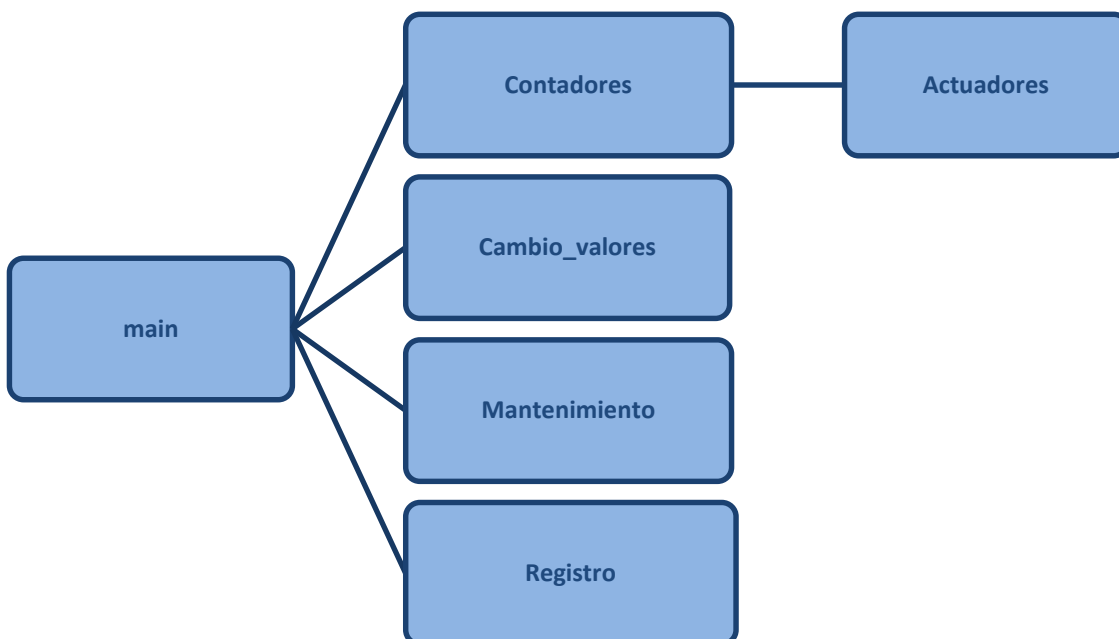


Imagen 47: Esquema programa

De manera general la función “main” es la función de control, donde se anidan y se realiza el llamado a las demás funciones además de realizar acciones elementales como actualizar la fecha, hora y llevar la cuenta del tiempo de funcionamiento.

“Contadores” es la función principal del programa ya que es la que realiza la cuenta de las cápsulas y frascos y realiza el llamado a la función “actuadores”, quien tiene el comando de las salidas del PLC. “Contadores” puede ser accedida bajo dos formas:

- “contador” que realizará el llenado de  $M$  frascos con una cantidad  $N$  de cápsulas ( $M$  y  $N$  son valores provistos por la función “Cambio\_valores”)
- “vaciado” en cuyo caso procederá a contar cápsulas hasta que el operario de manualmente la orden de cambiar de frasco o de finalización, dando como resultado la cantidad de cápsulas total contada y no la cantidad de frascos

“Cambio\_valores” está pensada para permitir adecuar los valores de cápsulas por frascos y frascos por ciclo a los valores dados por la programación de la producción.

“Mantenimiento” permite visualizar los sensores y actuar sobre las salidas de manera individual, de manera de proveer al personal de mantenimiento una herramienta para encontrar las fallas de manera rápida.

“Registro” es una función que realiza los cálculos correspondientes para mostrar indicadores que den idea del nivel de adecuación de la máquina a la producción de la fábrica.

A continuación se ofrece el contenido de cada función con una explicación del mismo

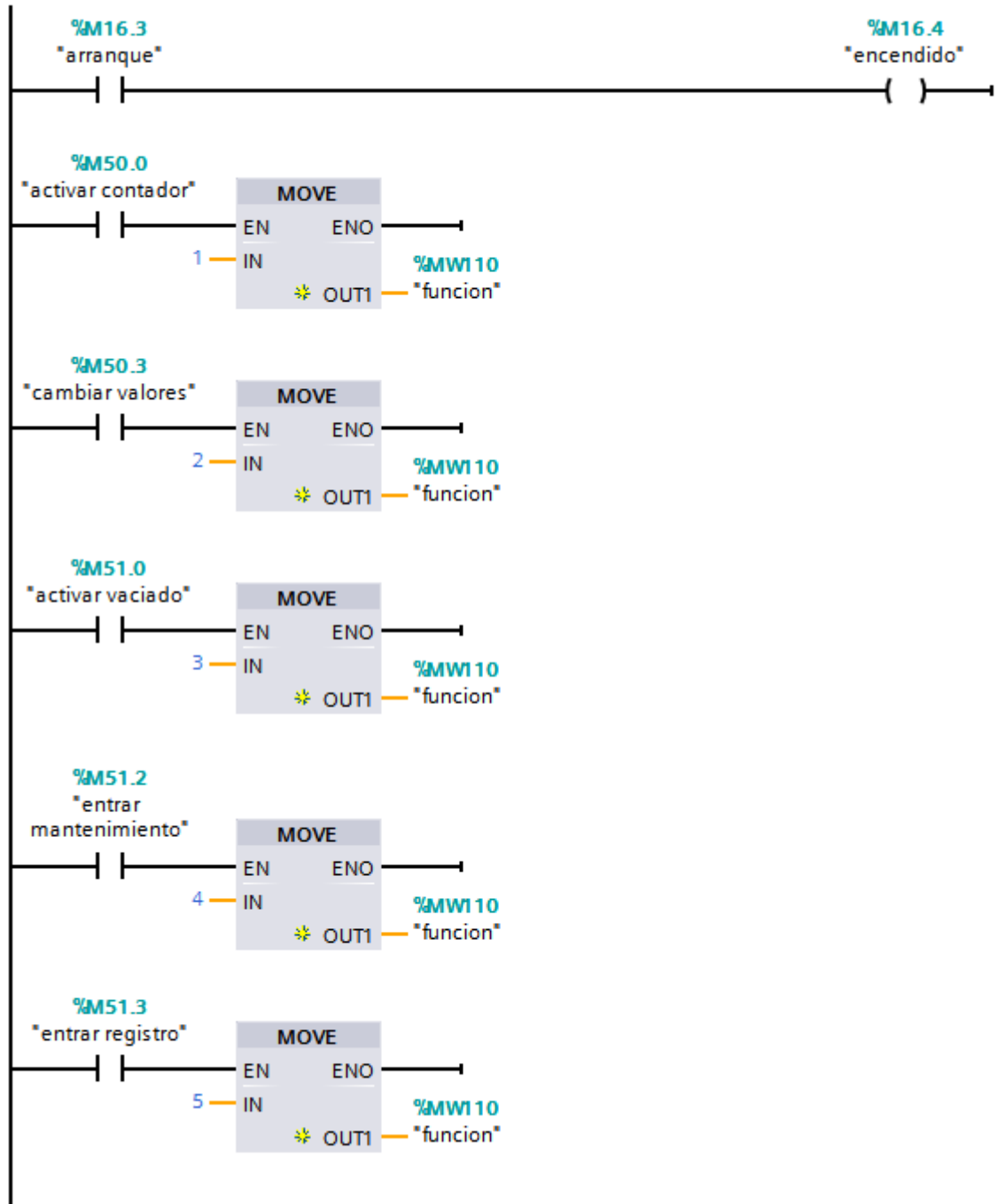




**Main**

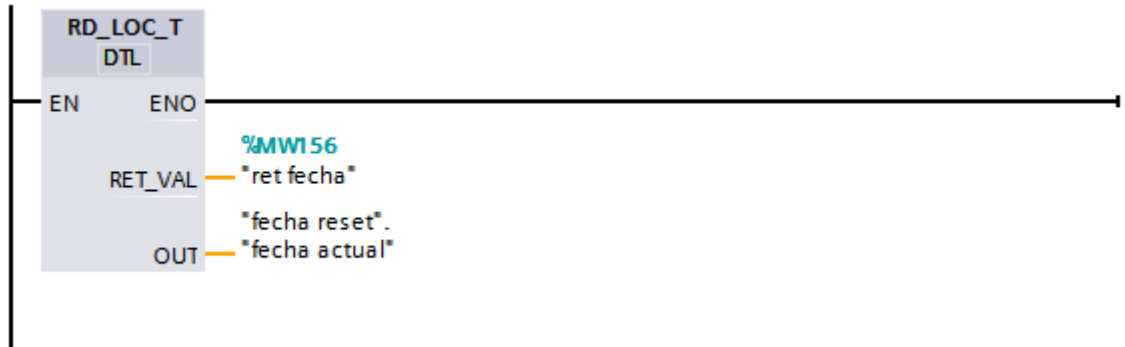
**Segmento 1**

En la primera línea se encuentra un indicador de encendido y luego un selector de funciones, que dependiendo la opción elegida por medio de la pantalla táctil activa una marca para realizar la llamada a la función correspondiente.



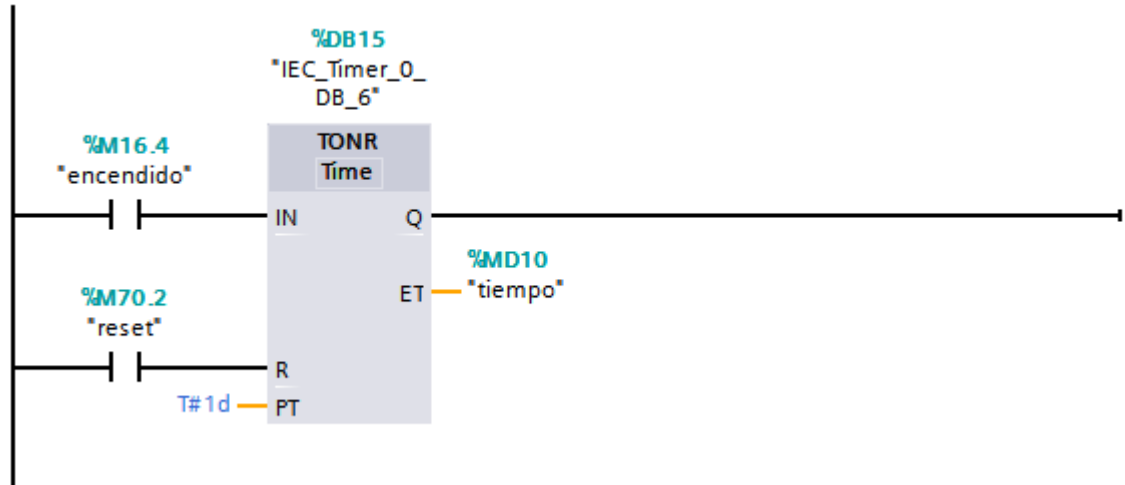
### Segmento 2

En este segmento se guarda en una variable la fecha y hora del PLC para ser mostrada por medio de la pantalla táctil



### Segmento 3

Aquí se activa un contador de horas de funcionamiento para llevar un registro de las horas que la máquina se encontró encendida desde la última vez que han sido reseteadas las estadísticas

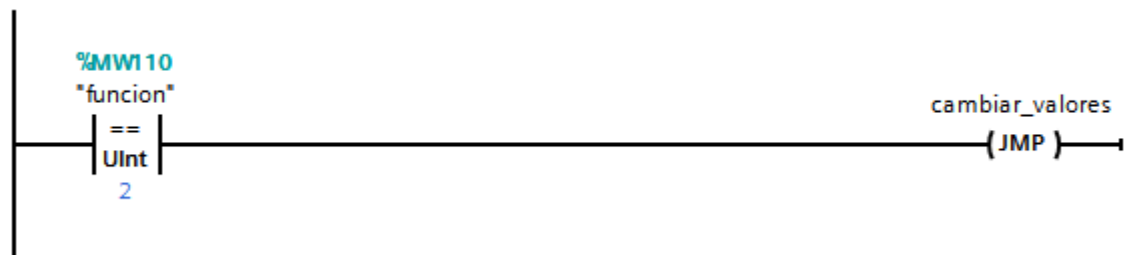
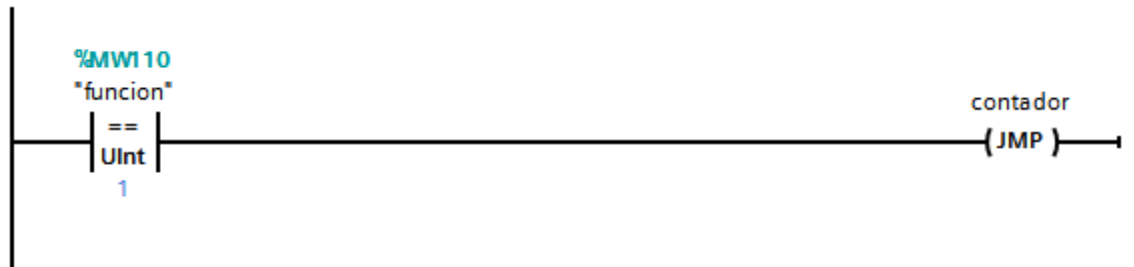


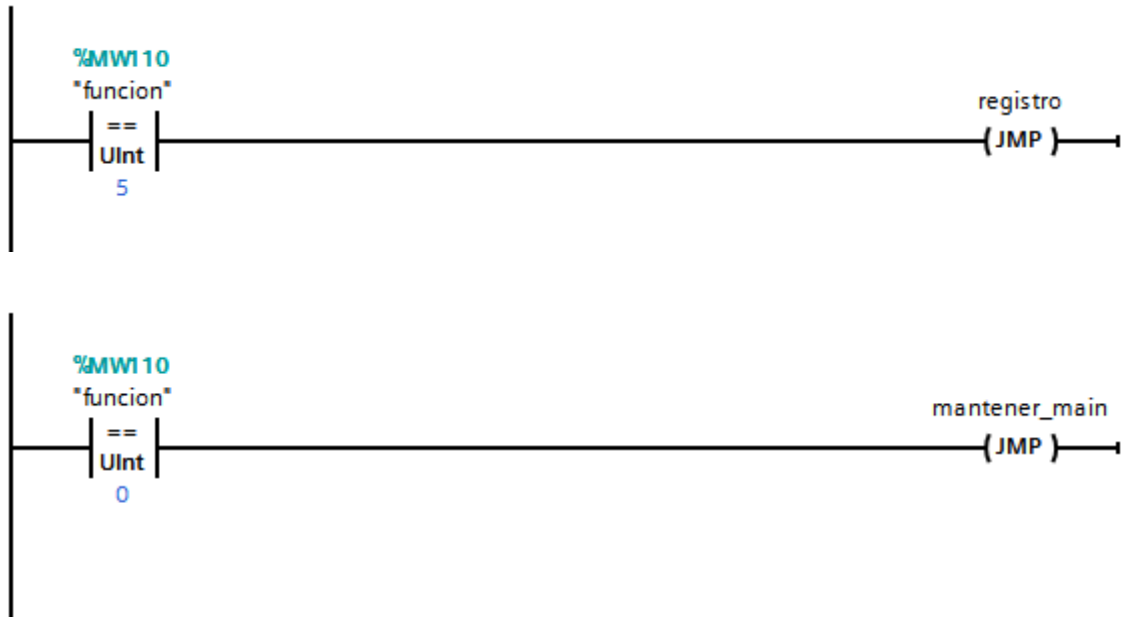


### Segmentos 4, 5, 6, 7, 8

En estos segmentos se realiza un salto de líneas de código hacia la llamada de la función correspondiente, dependiendo del valor que adopte la variable "función".

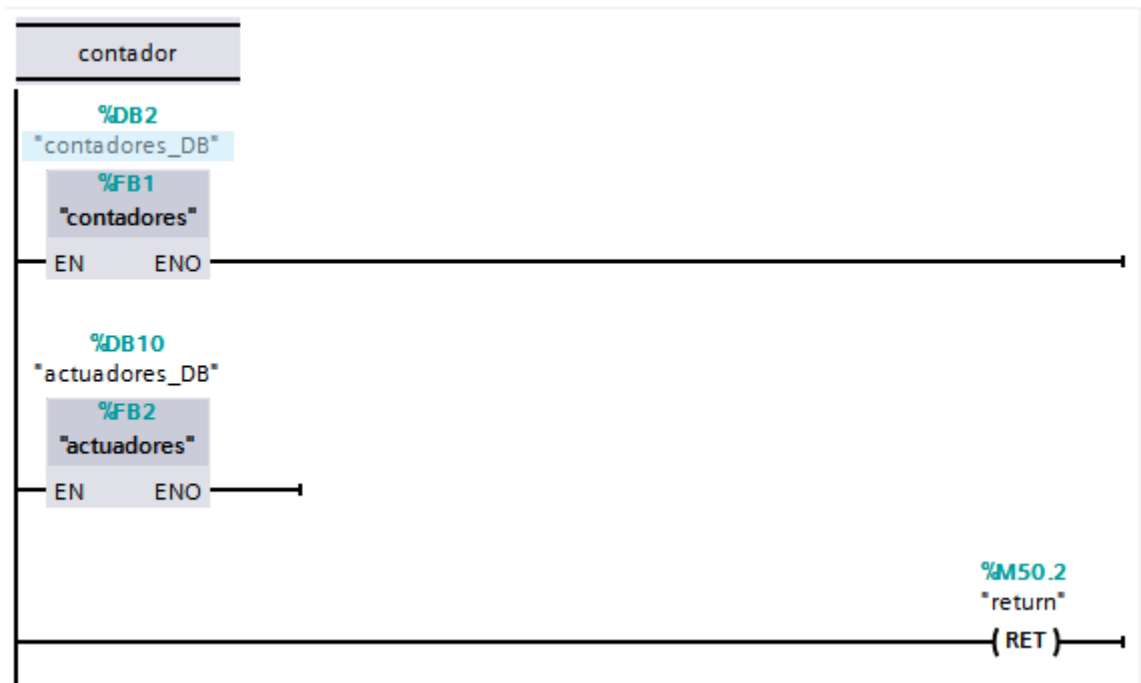
Por ejemplo si función = 1 se salta al segmento 9 sin embargo si función = 2, al segmento 10

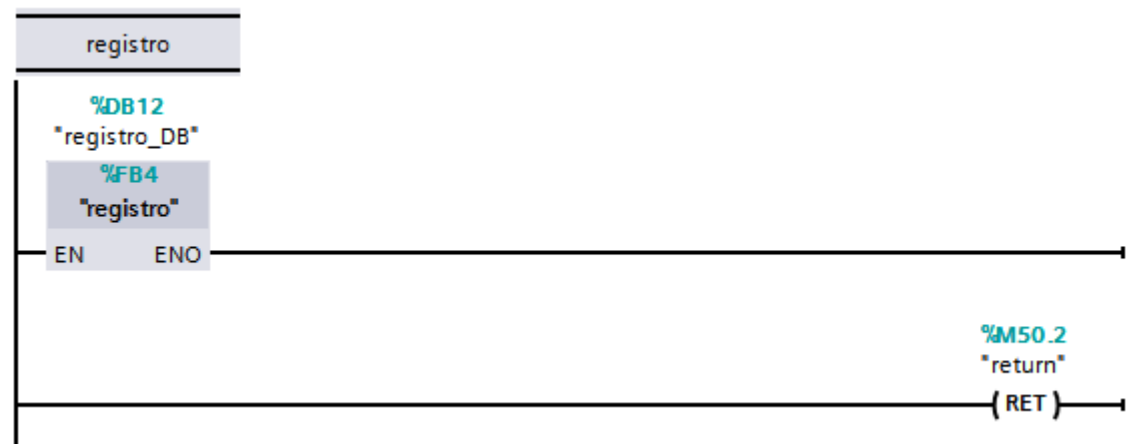
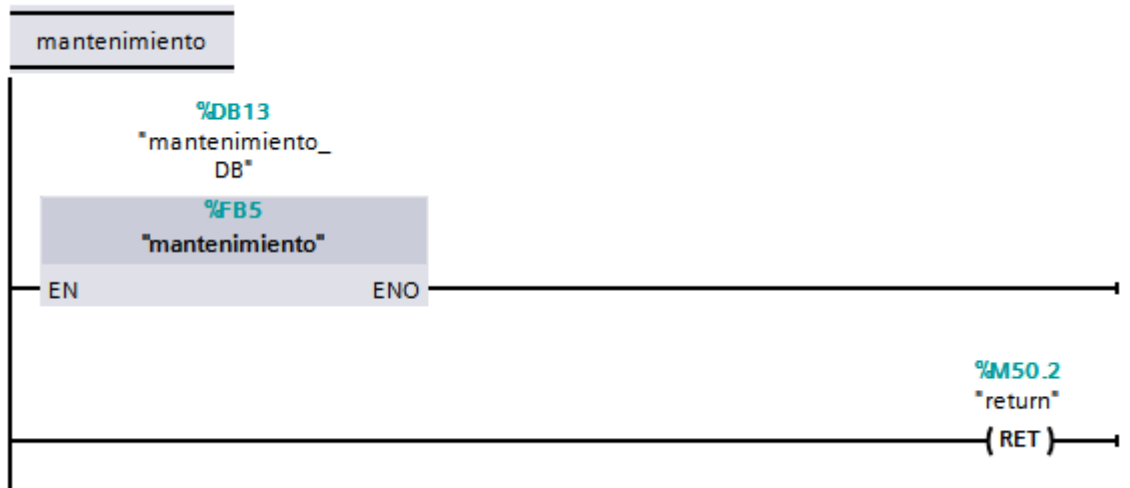
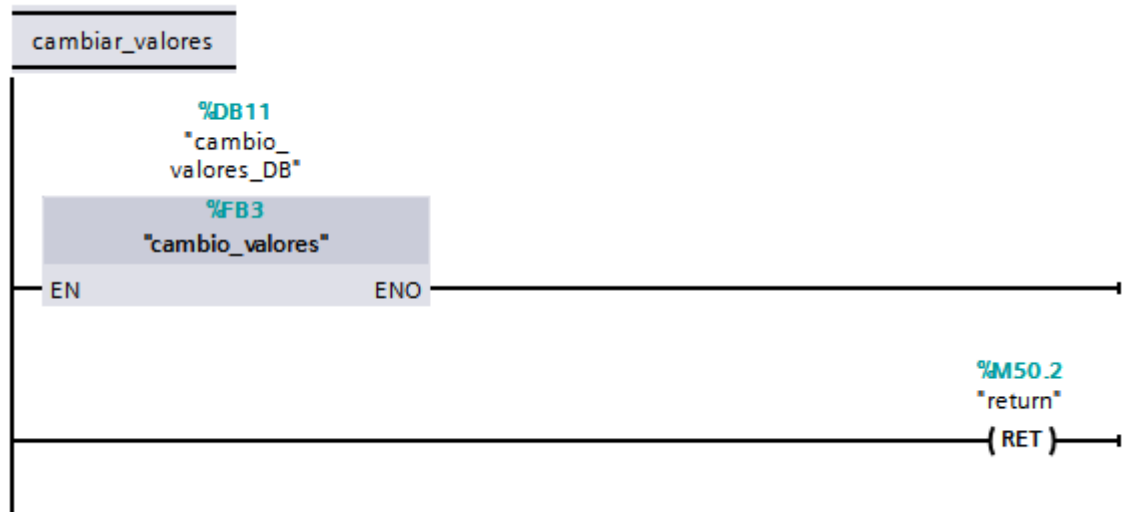




### Segmento 9, 10, 11, 12

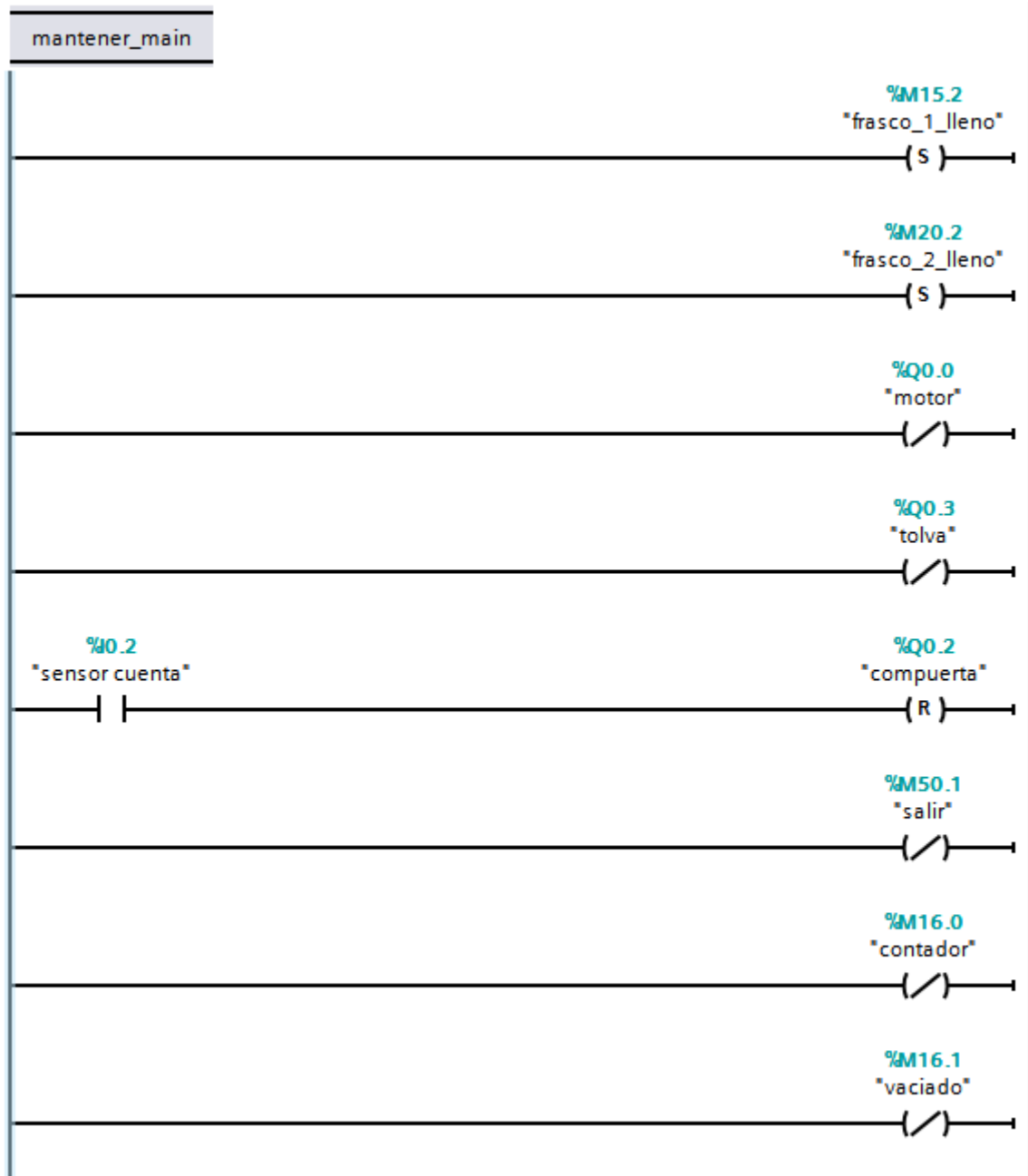
Se realiza la llamada a las funciones correspondientes, por ejemplo en el segmento 9 a “contadores y actuadores” y luego de ejecutadas las mismas se reinicia la función “main”, ignorando las líneas de código que siguen





### Segmento 13

De no haberse elegido ninguna función se llega a este segmento, ejecutándose "main" de manera completa. Las líneas de código de este segmento son redundantes para asegurar que no quede ningún actuador activo (por ejemplo motor, vibrador)



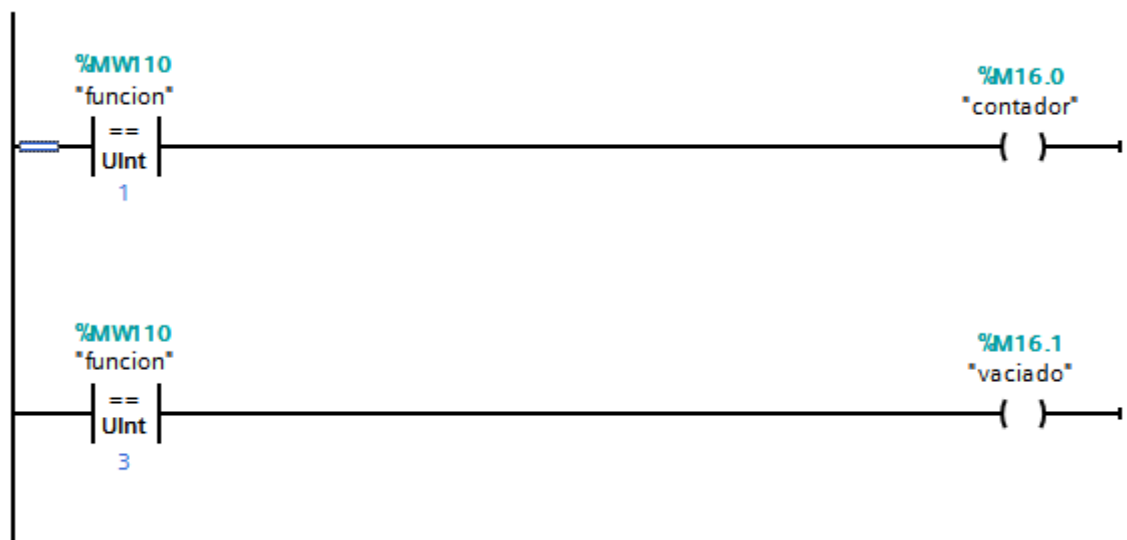


### Contadores

A esta función se pudo haber llegado por dos caminos, con la variable “función=1” o “función=3” arrojando diferentes resultados

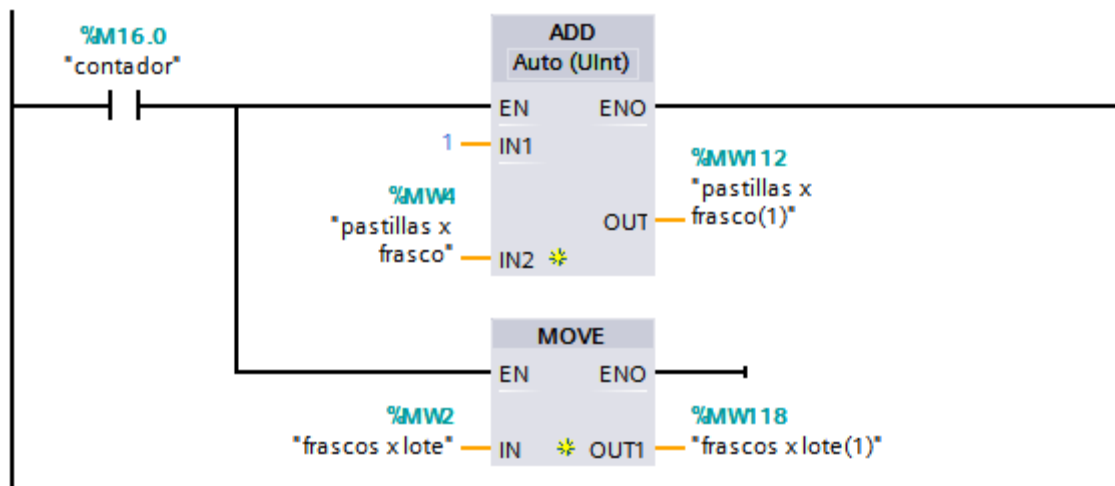
#### Segmento 1

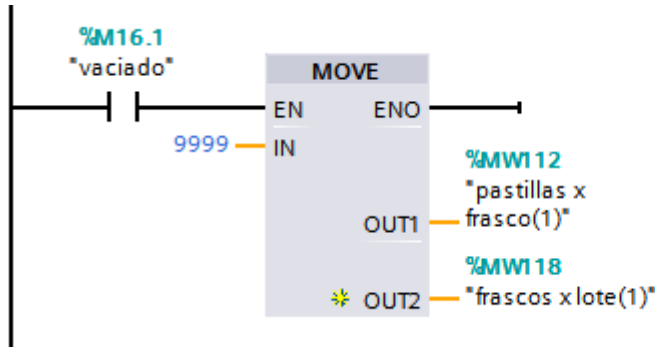
Si “función=1” se activa la marca “contador” y si “función=3” se activa “vaciado”. Estas marcas serán las encargadas de habilitar o no diferentes líneas de código para adecuar la función



#### Segmento 2

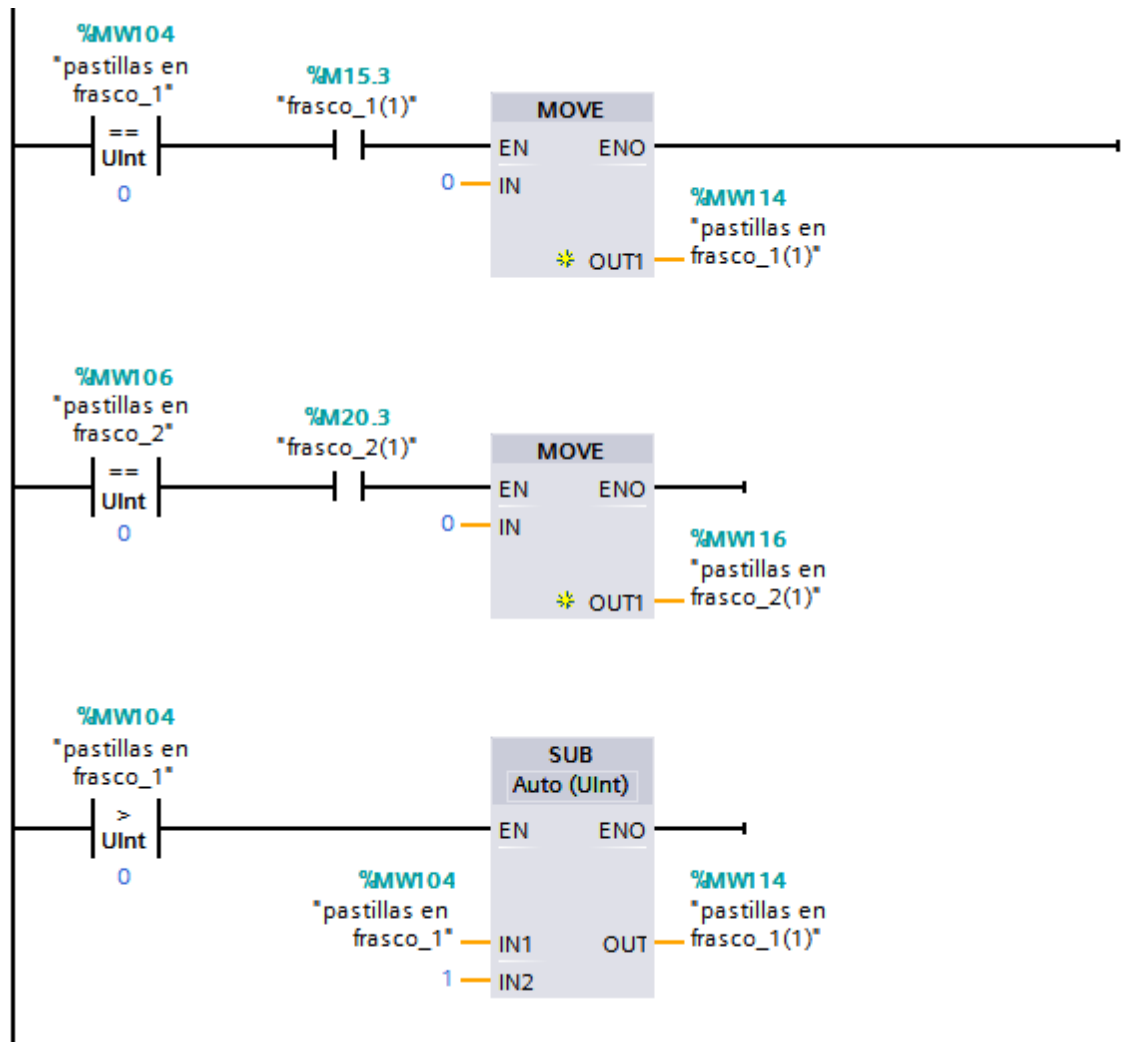
Si se encuentra activa la marca “contador” se cargan los valores respectivos a la cantidad de cápsulas y frascos a contar, mientras que si es “vaciado” la marca activa se provee a los contadores con un valor de límite alto para permitir descargar la máquina sin tener que cambiar los frascos.



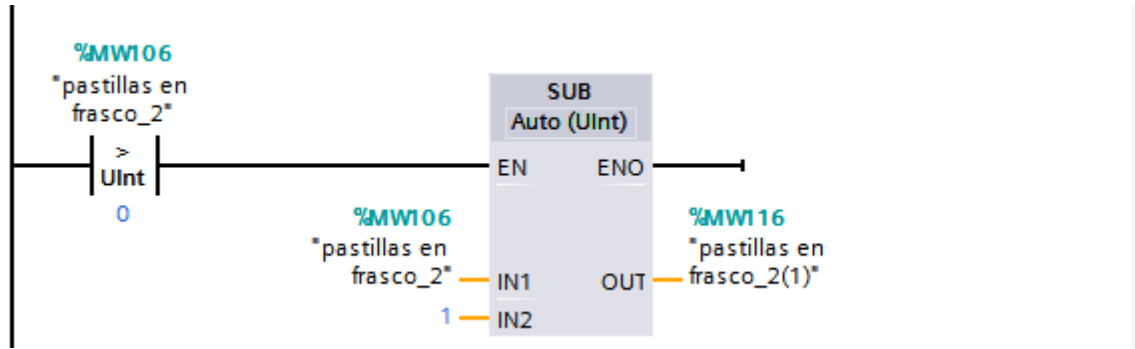


### Segmento 3

En estos segmentos se adecúan los valores a mostrar en la pantalla táctil respecto a la cuenta

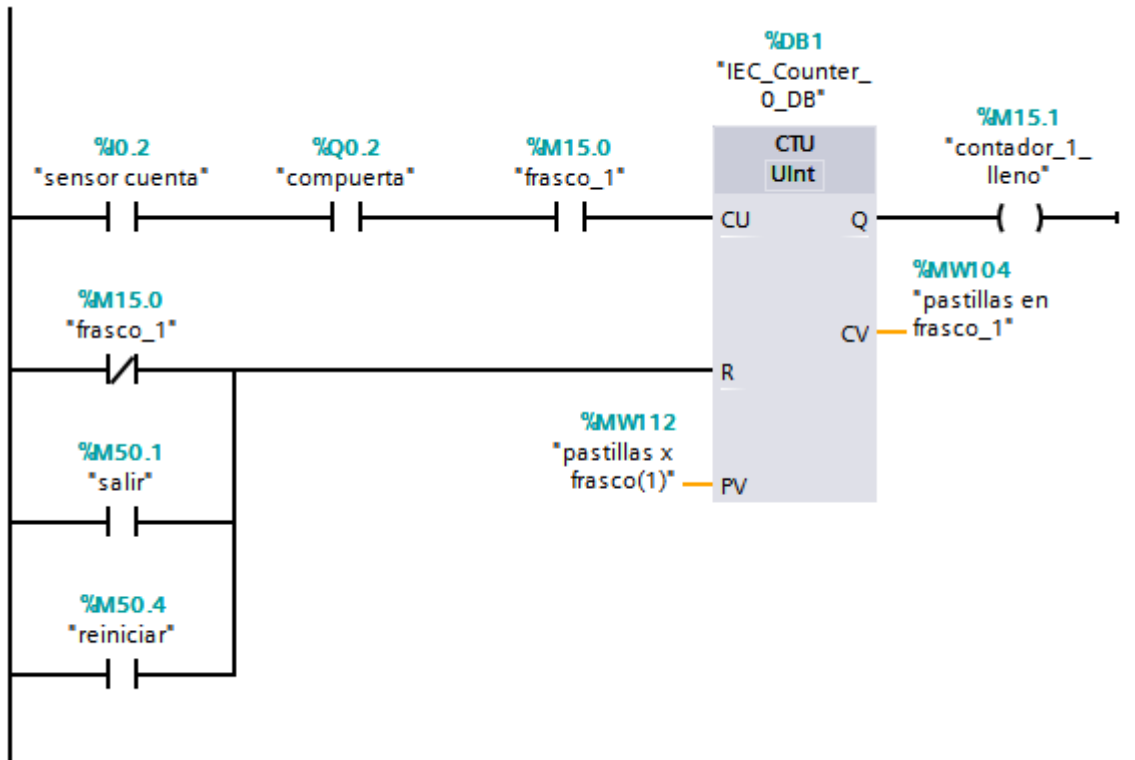






### Segmento 4

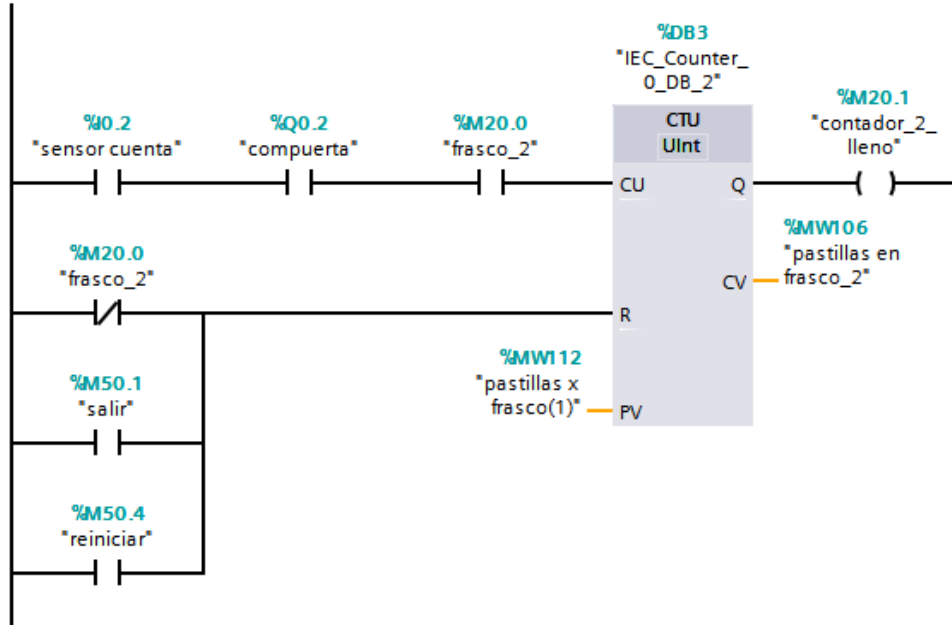
Este segmento es el que realiza la cuenta de cápsulas respectiva a uno de los frascos





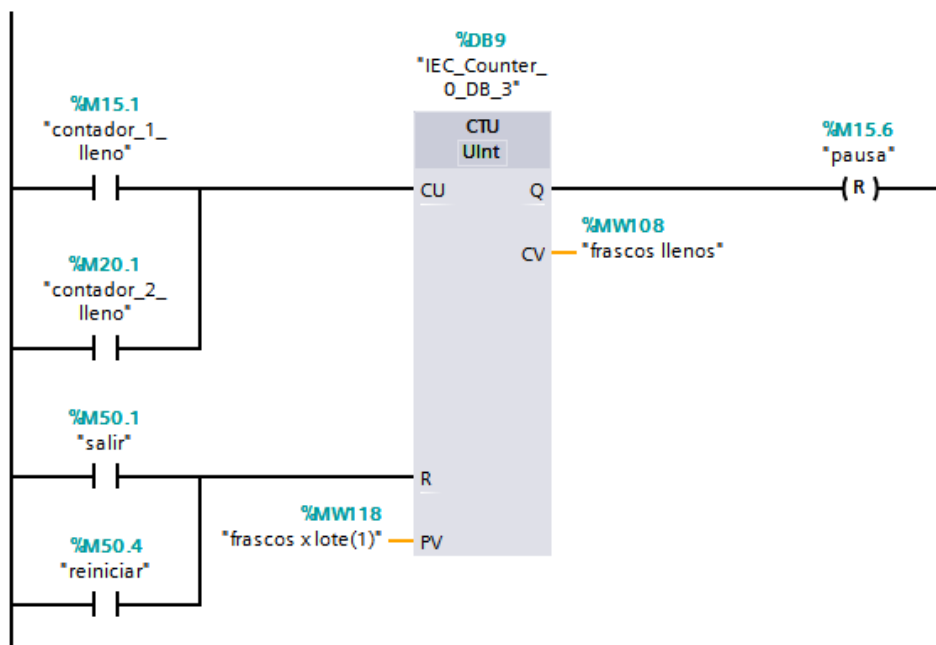
### Segmento 5

Aquí se realiza la cuenta relativa al frasco restante



### Segmento 6

Aquí se lleva la cuenta de la cantidad de frascos que se ha llenado al momento. Este segmento solo tiene utilidad si se encuentra la marca “contador” activa, ya que si se encuentra “vaciado” no se llegaría nunca a llenar los frascos ya que la máquina se encuentra en proceso de vaciado y no de producción

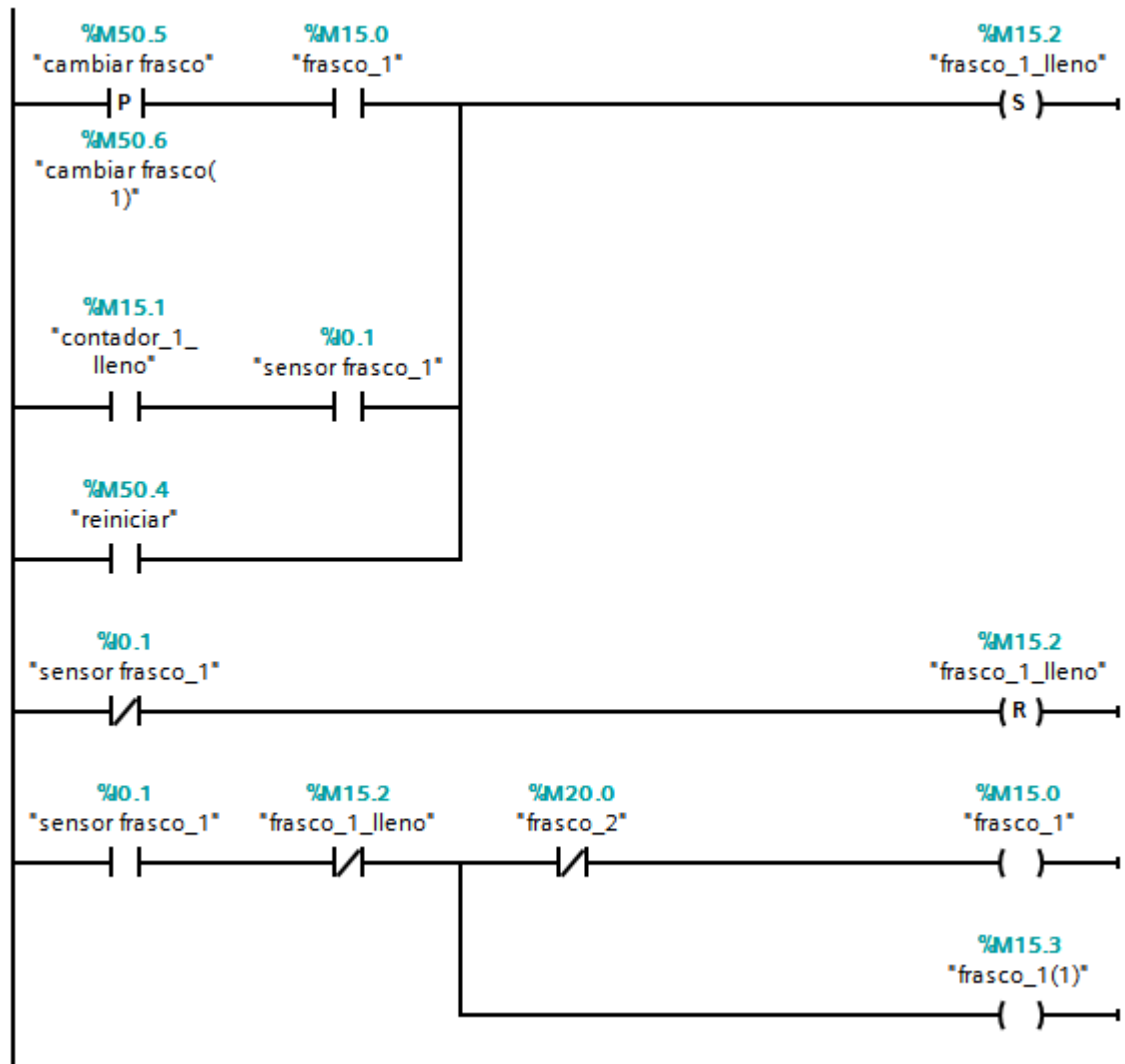




### Segmento 7

Aquí se controla el estado de la salida correspondiente al frasco 1, tiene tres posibilidades:

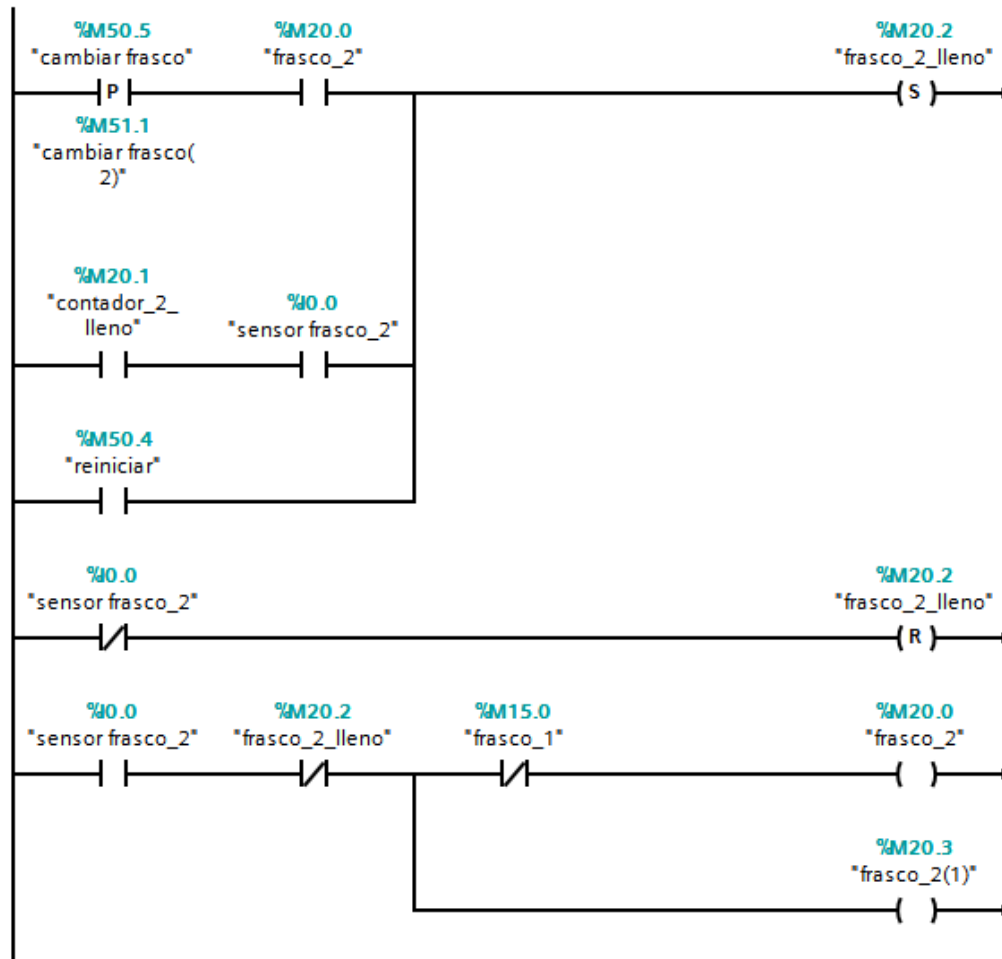
- Vacía o sin frasco
- Con un frasco vacío o siendo llenado, este es el único caso que permite la descarga de cápsulas por esta vía
- Con un frasco lleno





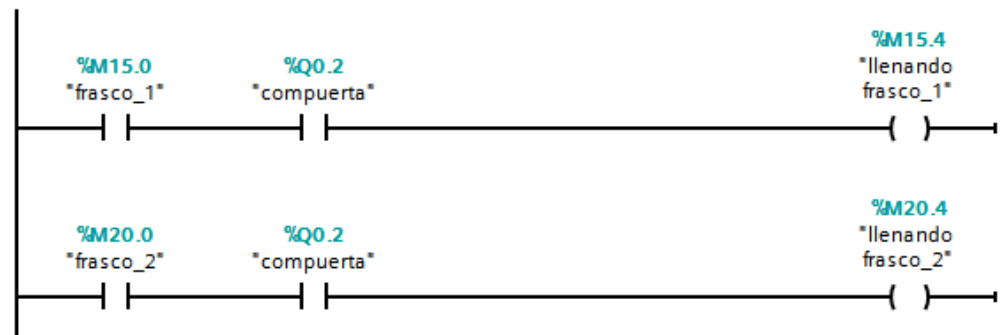
### Segmento 8

Aquí se controla el estado de la salida correspondiente al frasco 2, tiene tres posibilidades, las opciones de estado son las mismas que las del segmento 7



### Segmento 9

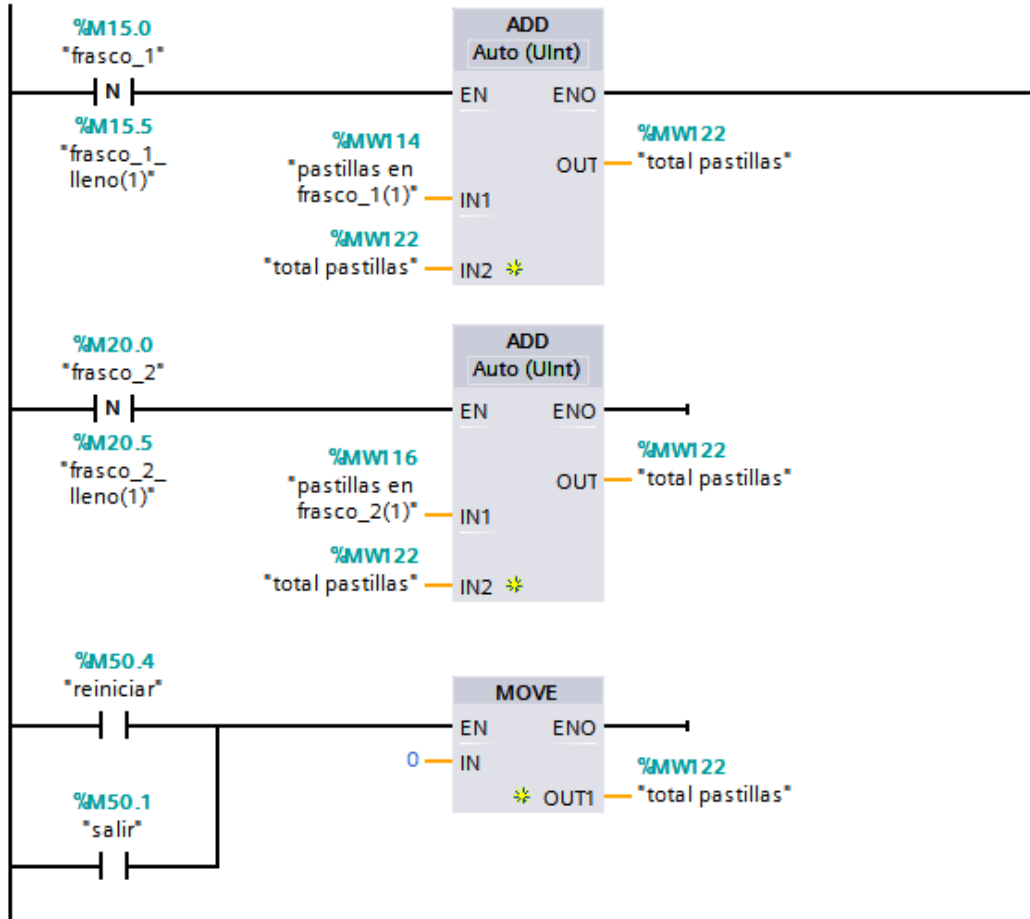
Este segmento provee una indicación visual en la pantalla táctil que indica cual de los frascos se encuentra en proceso de llenado





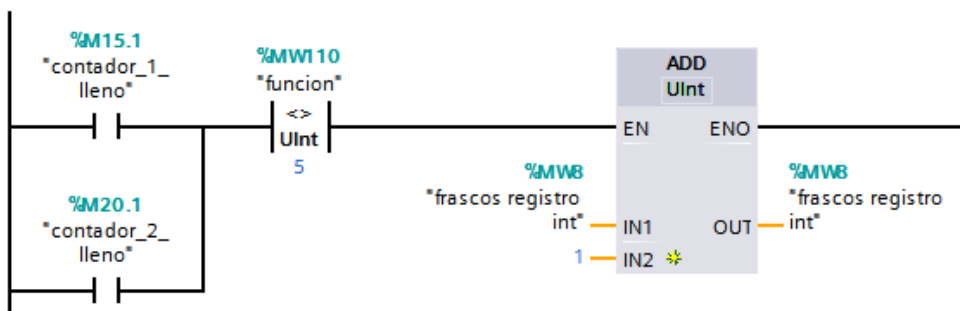
### Segmento 10

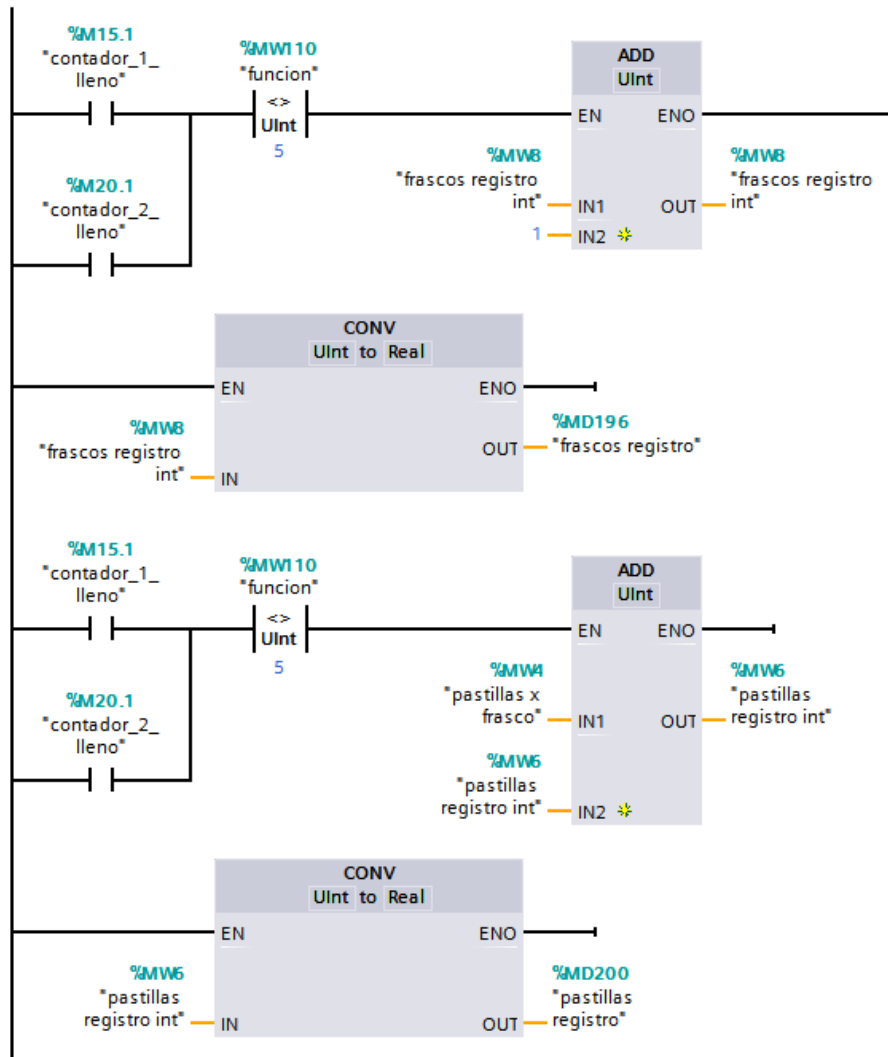
Este segmento realiza la suma de la cantidad de cápsulas contadas al momento, este valor es utilizado si se encuentra la marca "vaciado" activa y se muestra en la pantalla



### Segmento 11

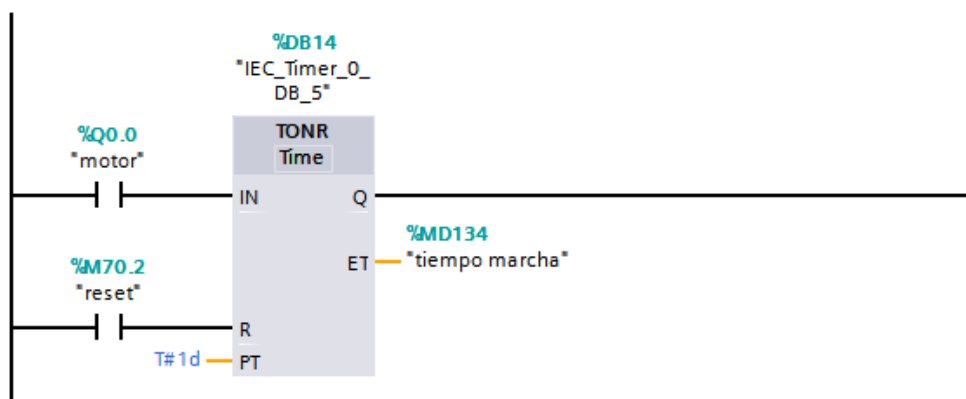
En esta función se registran la totalidad de cápsulas y frascos contados en proceso de producción para ser mostrados luego en la pantalla de registros, donde se muestran las estadísticas pertinentes al funcionamiento de la máquina





### Segmento 12

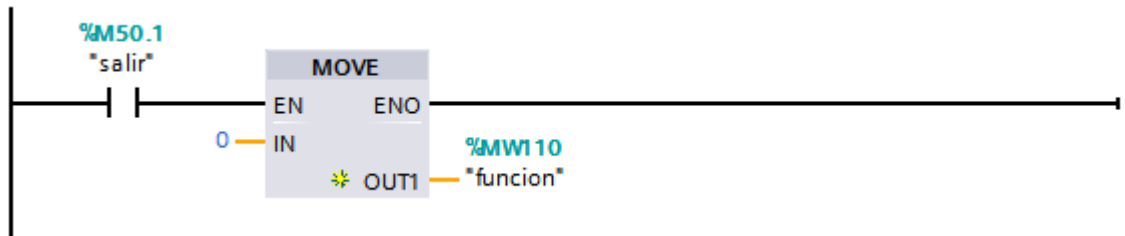
Aquí se carga el tiempo que la máquina se encontró en proceso de cuenta desde el último reset de estadísticas de la máquina





### Segmento 13

Esta línea de código provee la salida de la función “contadores” al presionar el botón “salir” en la pantalla táctil

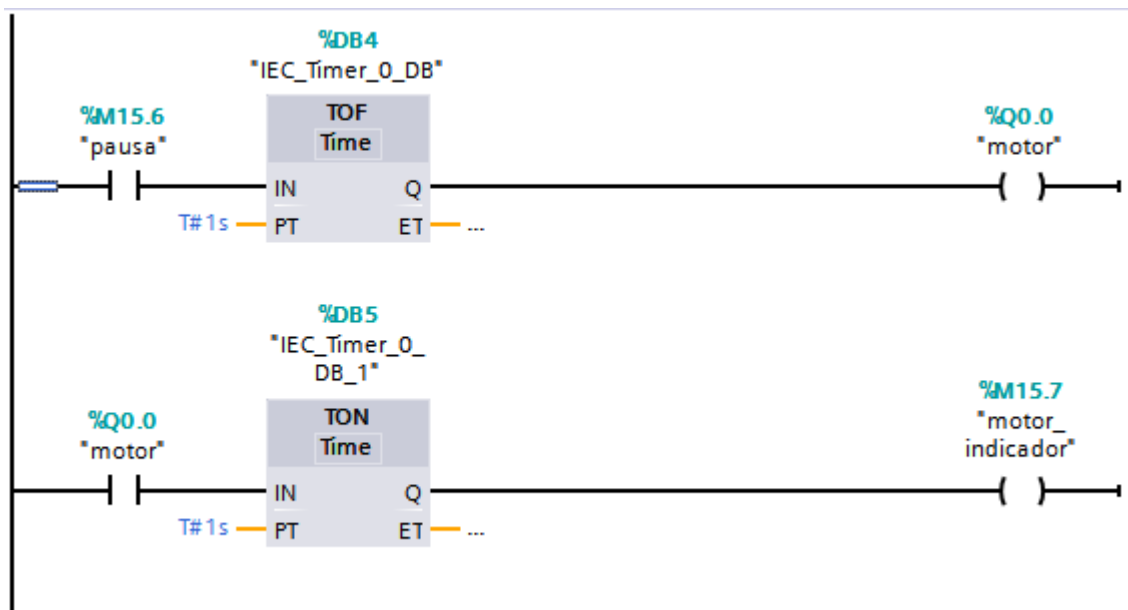


### Actuadores

Es la función de control de los actuadores, no tiene un segmento correspondiente a la salida de la misma ya que siempre será llamada con la función “contadores” y esta posee el segmento correspondiente al abandono de la misma

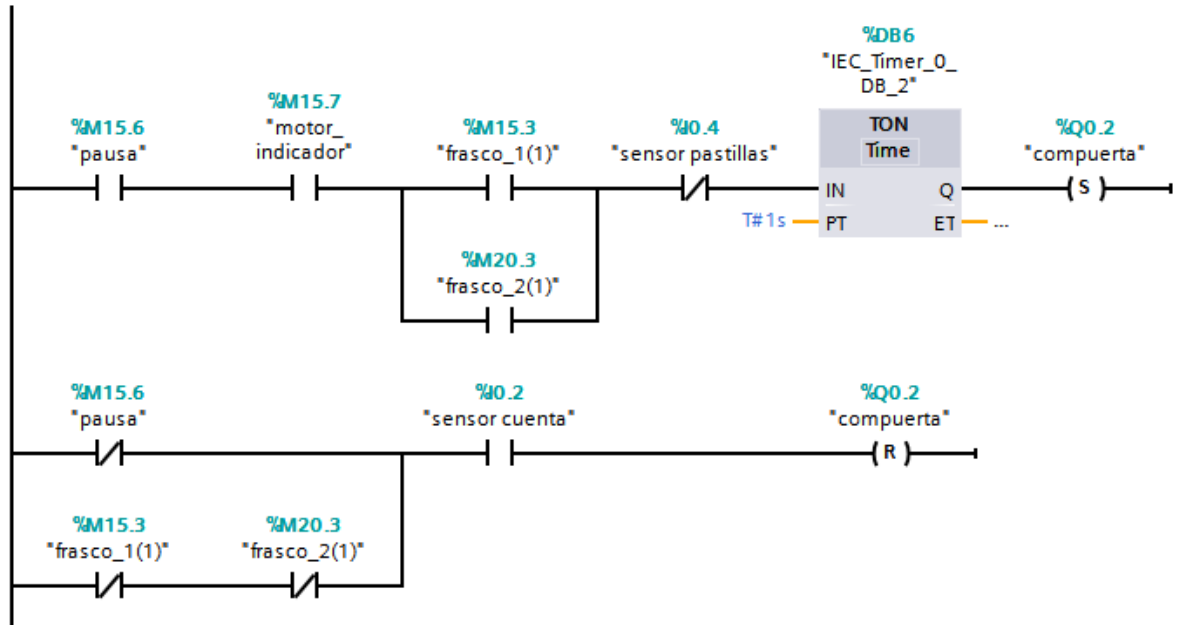
### Segmento 1

El segmento a continuación habilita el giro del disco sobre el que se encuentran las cápsulas a ser contadas y provee una marca de indicación con un retraso suficiente para que al ser habilitada el motor se encuentre en velocidad de régimen



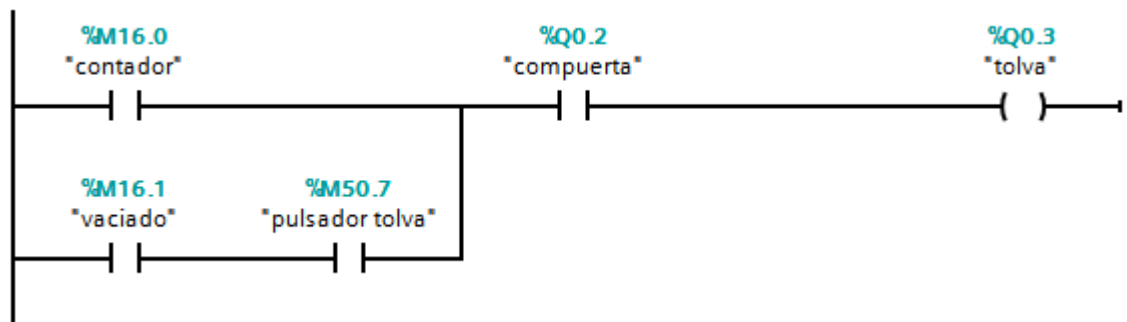
### Segmento 2

Se habilita o no la salida de las cápsulas hacia los frascos dependiendo del estado del motor, la ausencia de cápsulas en el recorrido de la compuerta y la disponibilidad de frascos vacíos en la salida de la máquina



### Segmento 3

De estar la compuerta abierta, esta función habilita la vibración de la tolva. Es requisito tener la compuerta abierta para evitar sobrellenar el disco de cápsulas

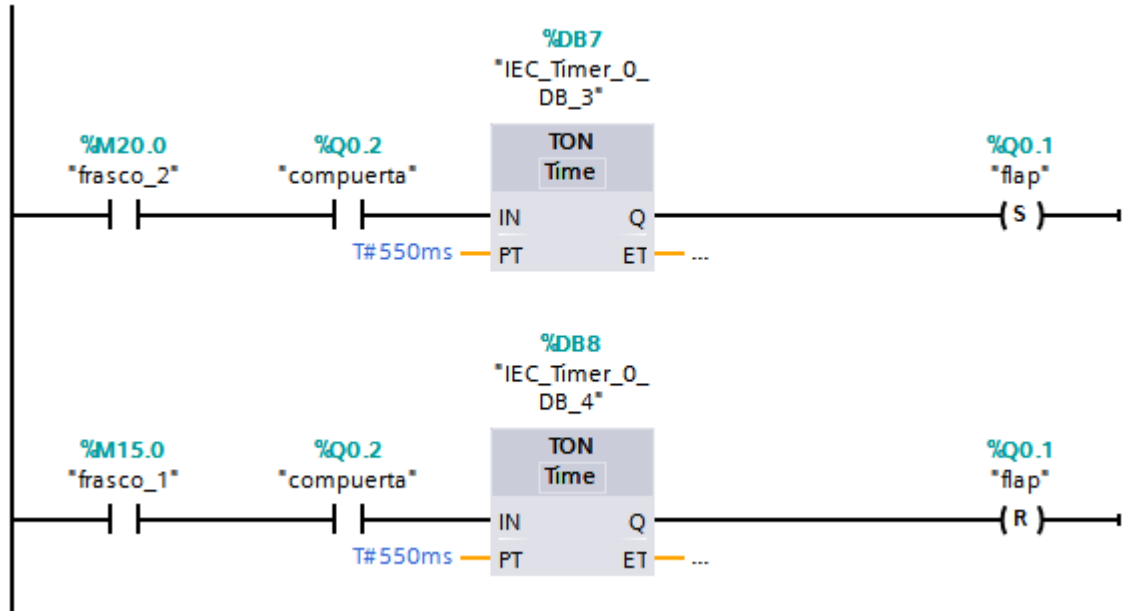






### Segmento 4

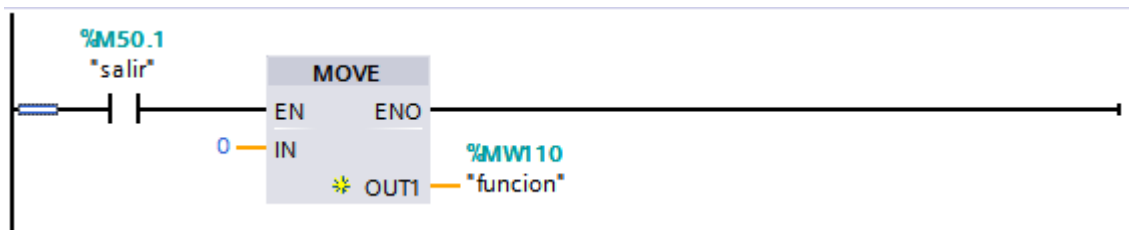
En este segmento se habilita el cambio de frascos. Posee un retardo para garantizar que pase la cantidad de cápsulas contadas por el sensor a cada frasco antes de realizar el cambio



### Cambio valores

Sólo posee el segmento correspondiente a la salida de la misma, ya que la carga de los valores y la exposición de los mismos se maneja desde la pantalla táctil

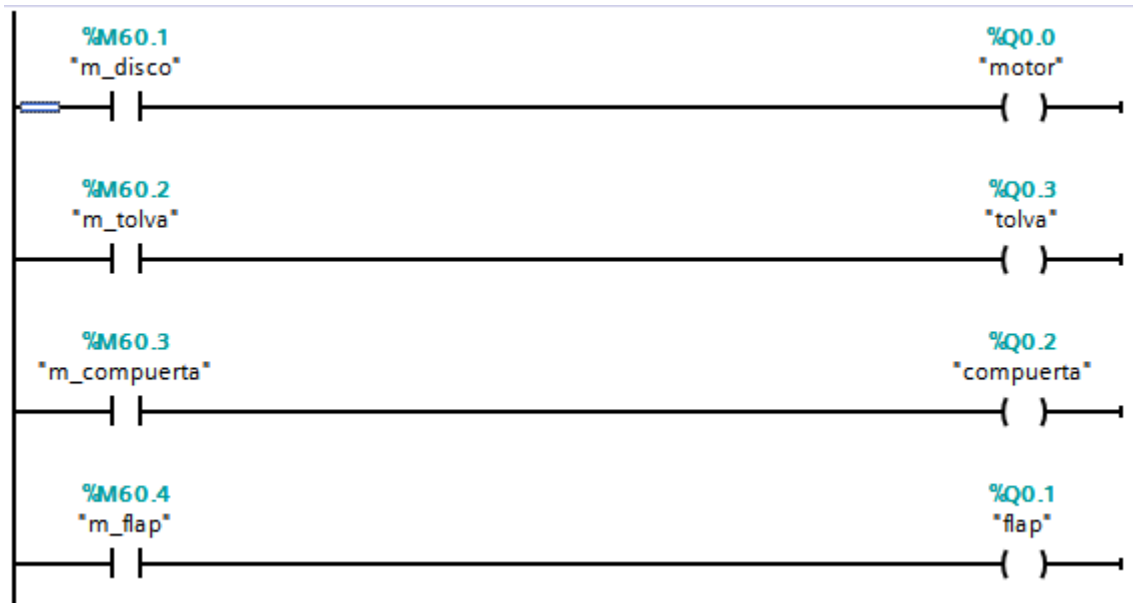
### Segmento 1



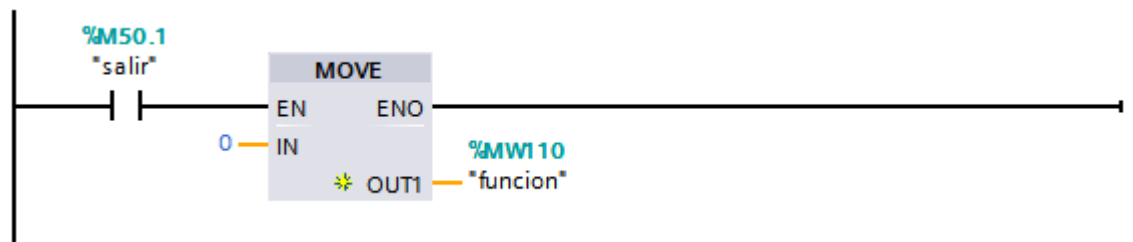
### Mantenimiento

En esta función solo se encuentran los segmentos correspondientes a la habilitación de las salidas y al abandono de esta función aunque también muestra el estado de los sensores, pero esta última característica se administra desde la pantalla táctil

### Segmento 1



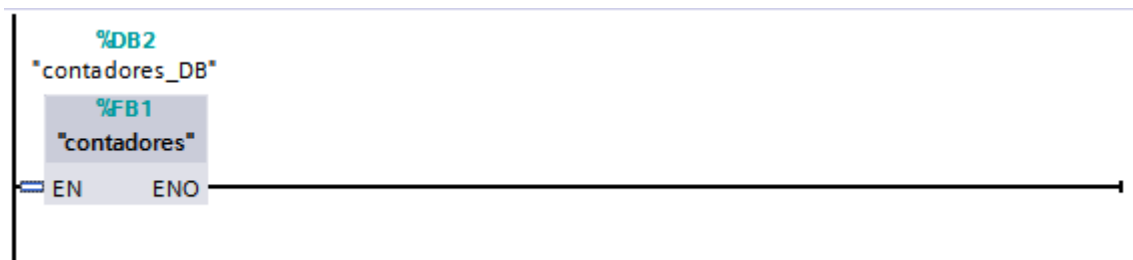
### Segmento 2



### Registro

#### Segmento 1

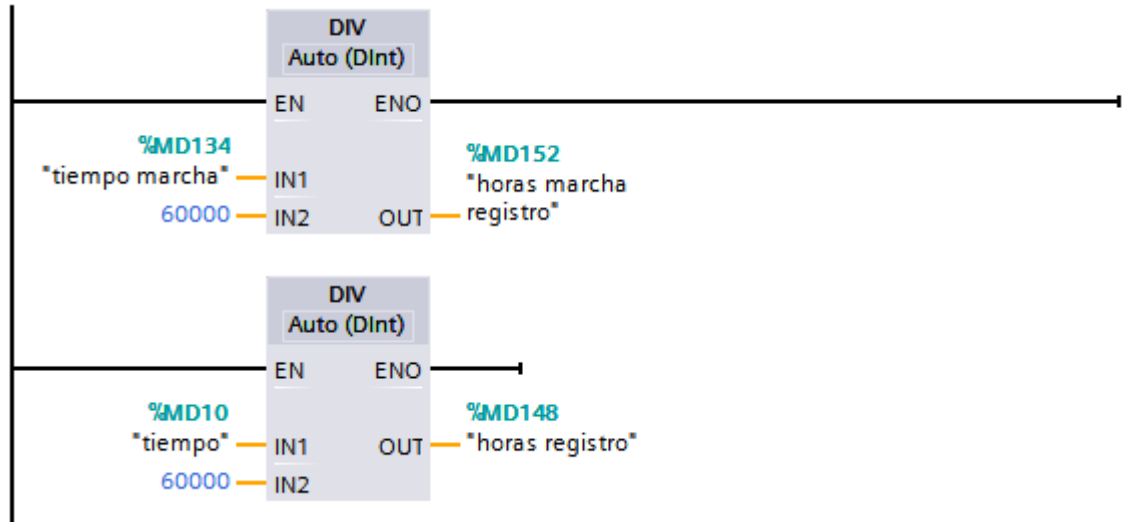
Este segmento habilita la función contadores para poder tener acceso a los valores relativos a la productividad de la máquina, tanto para leerlos como para resetearlos





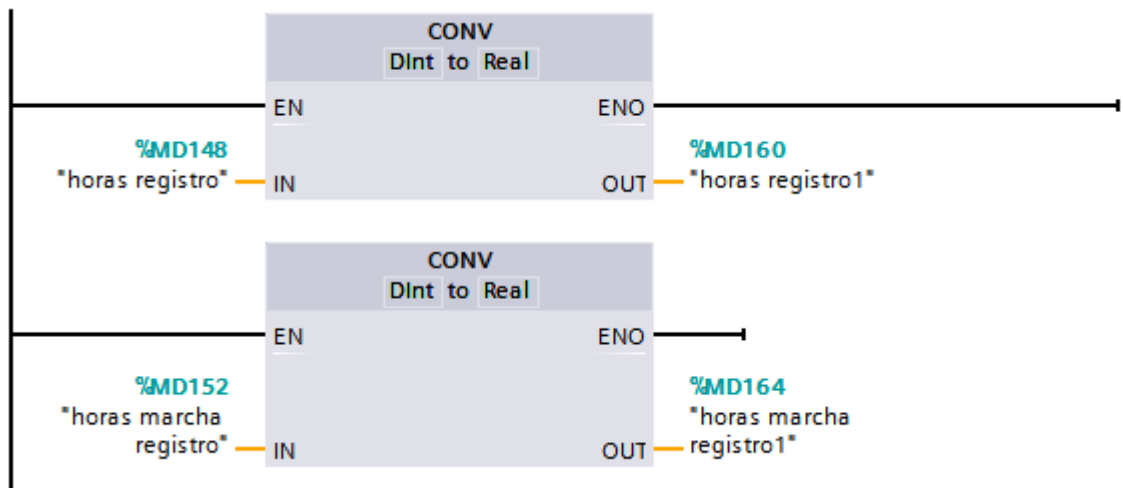
### Segmento 2

Adecúa los valores de los temporizadores para ser mostrados, en el caso de la máquina en producción la constante sería 3600000, para pasar de milisegundos a horas, pero a los efectos de mostrar el funcionamiento se dejó en 60000 para mostrar el cambio en minutos



### Segmento 3

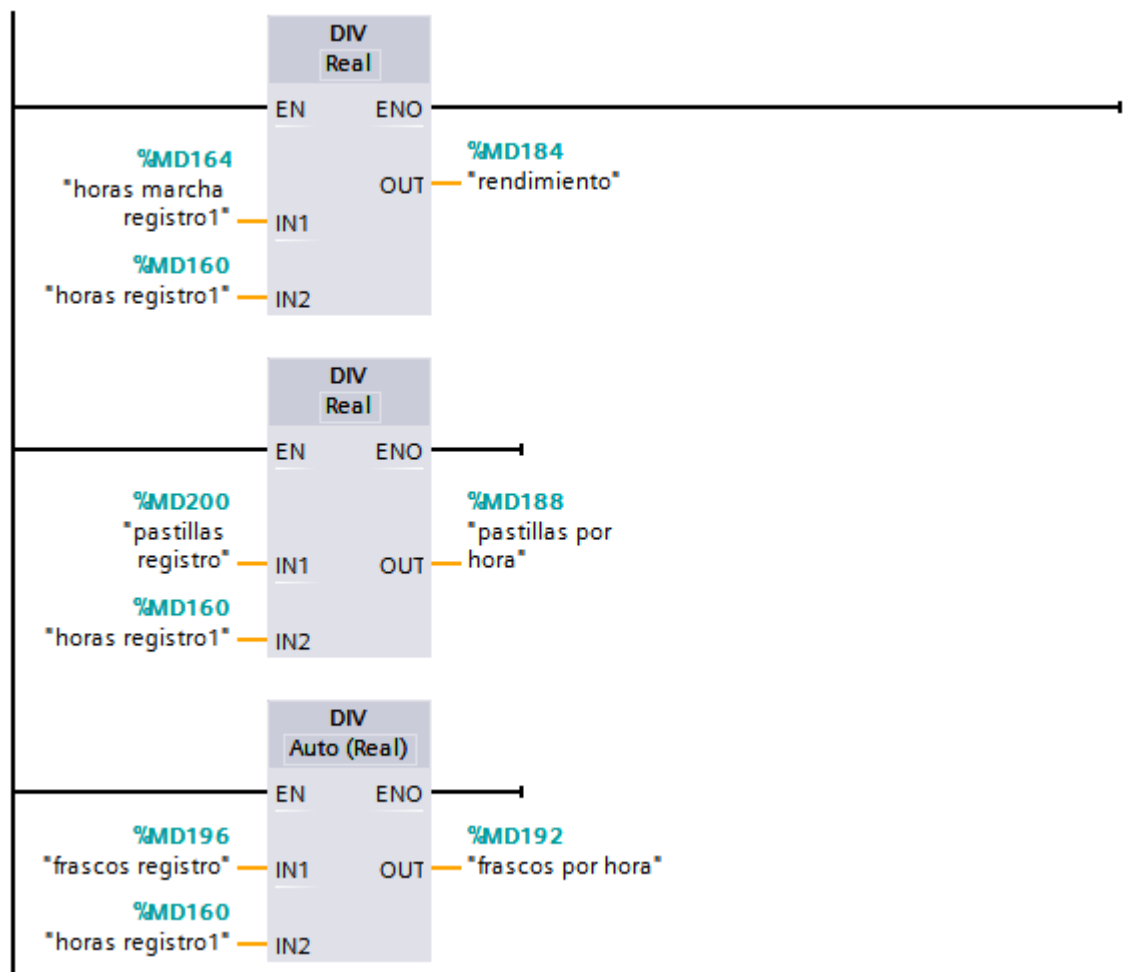
Cambia el tipo de datos correspondiente a los tiempos de funcionamiento de la máquina para permitir realizar ciertas operaciones con ellos



## Segmento 4

En este segmento se obtienen:

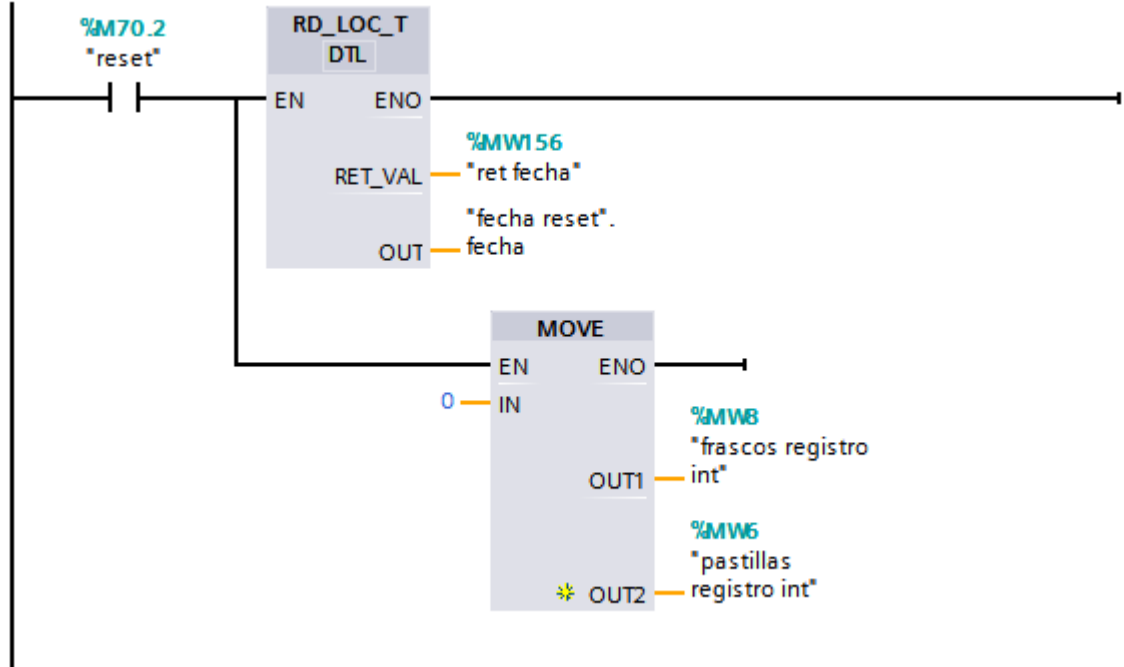
- *El porcentaje de tiempo encendido que estuvo contando.* Se provee este valor para controlar la adecuación de la máquina al proceso de producción, ya que un valor cercano a 0 implica una máquina muy veloz para la producción manejada mientras que la cercanía a 1 quiere decir que se necesita una de mayor capacidad o la colocación de otra en paralelo
- *La cantidad de cápsulas contadas por hora encendida.* El objetivo de este valor es indicar la productividad del proceso en cápsulas de medicamento, no es indicador de la velocidad de cuenta de la máquina ya que se tienen en cuenta los tiempos muertos también
- *La cantidad de frascos contados por hora encendida.* El objetivo de este valor es indicar la productividad del proceso en frascos llenos, no es indicador de la velocidad de cuenta de la máquina por el mismo motivo que el indicador anterior





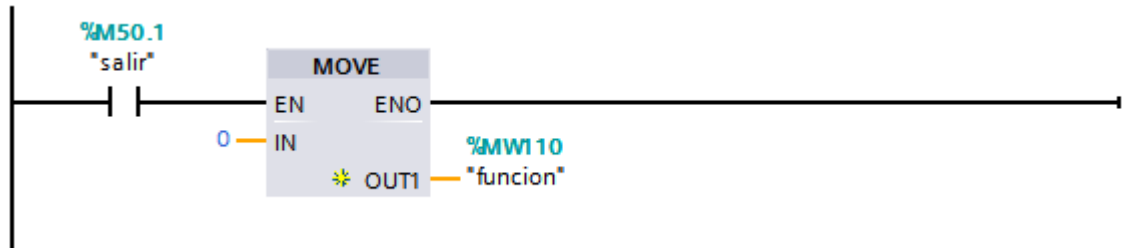
### Segmento 5

Este segmento provee la posibilidad de resetear las estadísticas



### Segmento 6

Como en todas las funciones anteriores se provee un segmento correspondiente al abandono de la misma





## Capítulo V – Circuitos eléctricos y neumático

### Introducción

En el presente capítulo describiremos la instalación de elementos auxiliares que se llevó a cabo para hacer funcionar la máquina.

A nivel de prototipo se realizó solo una instalación eléctrica, pero para obtener mejoras a nivel de funcionamiento para el diseño final se reemplazaron los actuadores electromagnéticos por neumáticos, agregando este esquema también a las instalaciones recomendadas.

Los elementos auxiliares a comandar deben ser:

- Un vibrador, que es responsable de hacer pasar una cantidad controlada de cápsulas de la tolva al disco, manteniendo un nivel de llenado óptimo de este último para obtener la mayor velocidad de cuenta posible
- Un motor, encargado de proveer al disco del movimiento giratorio que impulsa las cápsulas a la periferia y permite la salida de las mismas hacia los frascos
- Una compuerta de salida, como su nombre lo indica es el actuador que habilita la salida de cápsulas a los frascos
- Una compuerta de dirección, esta compuerta habilita el pasaje de las cápsulas hacia uno u otro frasco

A su vez debe haber una cantidad de sensores para el control del proceso. A continuación se describen junto con el propósito de los mismos según sea para el prototipo construido en la facultad o el modelo diseñado para la producción.

## **Instalación prototipo construido**

Para la construcción del prototipo de ensayo, se utilizaron los elementos listados a continuación:

- Interruptor termomagnético 250V-2A
- Transformador 220/24V-2A
- Fusibles 220V-2A con base portafusible
- Borneras
- Sensor *efector200 OBF500* con cable fibra óptica *efector200 E20645*
- Sensor *Optex BGS-ZL30P*
- Rele NA
- Electroimanes de 8mm de carrera
- Motorreductor 24V 26RPM de salida
- Ventilador “cooler” de 24V (mediante la extracción de una paleta se utilizó como vibrador)

Entendiendo que no es una instalación viable para una máquina para la venta sino que se buscó colocar los elementos indispensables para el funcionamiento y apenas suficientes protecciones para resguardar los mismos, no las requeridas por normas, en el listado los componentes se encuentran solamente enumerados y no caracterizados completamente

En los anexos se muestra un plano de conexionado de los mismos, nuevamente sin la completa denominación de los mismos debido a los motivos anteriormente descriptos.

## **Modificaciones para diseño final**

Teniendo en cuenta el funcionamiento del prototipo se procedió a realizar un diagrama eléctrico de la instalación recomendada para la construcción de una máquina. Las mejoras frente a la instalación del prototipo se describen a continuación:

1. Las protecciones del circuito de 220V realizan un corte bipolar y no unipolar, ya que en el segundo caso no podemos garantizar el corte de la fase o que el neutro no tenga tensión debido a mal funcionamiento de la red





2. Se utilizan dos transformadores para independizar el circuito de comando del circuito de potencia para prevenir bajones de tensión en los arranques de los motores que afecten el funcionamiento de los sensores o PLC
3. Los electroimanes se reemplazaron por elementos neumáticos, que presentan mejor relación tamaño/fuerza, no poseen problemas de calentamiento por ciclos de operación largos y por su mayor fuerza se logran tiempos de apertura/cierre más constantes
4. Se agregó un esquema de la conexión neumática

Para este caso si se confeccionó un listado con la caracterización completa de los elementos a utilizar. Teniendo en cuenta el bajo consumo de los elementos del circuito, la selección de las protecciones se realizó siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de los mismos y el cableado es recomendado con cable de cobre, unipolar, de 1mm<sup>2</sup> de sección. A continuación se detalla la lista:

<b>Cant.</b>	<b>Designación</b>	<b>Código</b>
2	Interruptor termomagnético bipolar SIEMENS (440Vca-2A)	5SX1 1202-7
2	Fuente SITOP S7-1200 110/220Vac-24Vdc 2,5A	6EP1332-1SH71
1	PLC SIEMENS SIMATIC S7-1212	6ES7212-1HD30-0XB0
1	Pantalla SIEMENS KTP 600 Basic Monocromo PN	6AV6647-0AB11-3AX0
14	Fusible cristal 250V 1A 5x20mm	---
14	Borne doble piso portafusible seccionable ZOLODA	BDN-SI-520
4	Conjunto minirelé SIEMENS zócalo+módulo 24Vcc	LZS:PT3A5L24
1	Motor vibrador precisión microdrives 24V	345-800
1	FAULHABER micromotor 24Vcc	1319T024SR
1	FAULHABER cabezal reductor planetario	23/1 415:1
1	Electroválvula 3/2 monoestable (FESTO)	CPE14-M1BH-3OL-1/8
1	Electroválvula 5/2 monoestable (FESTO)	CPE14-M1BH-5L-1/8
1	Amplificador ópticoefector200	OBF500
2	Cable fibra óptica con sensor	E20648
4	Amplificador óptico efector200	OBF502
4	Cable fibra óptica con sensor	E20645
5	Conector eléctrico para amplificador efector200 serie OBF	EVC004

Por último detallamos la lista de elementos de la instalación neumática

<b>Cant.</b>	<b>Designación</b>	<b>Código</b>
10m	Tubo flexible 8mm	PUN-8x1,25-BL
1	Conector hembra (acople rápido ingreso de línea)	KSS6-1/8-A
1	Conector manguera/válvula tipo "T" (8mm-G1/8)	QST-1/8-8
8	Conector racor (8mm-G1/8)	QS-1/8-8
1	Unidad de mantenimiento (cierre, filtro/regulador, lubricador)	MSB4-1/8:C4:J6:M1
1	Electroválvula 3/2 monoestable (FESTO)	CPE14-M1BH-3OL-1/8
1	Electroválvula 5/2 monoestable (FESTO)	CPE14-M1BH-5L-1/8
1	Cilindro compacto serie ADN (FESTO)	ADN-12-10-A-P-A
1	Actuador giratorio Serie DRRD (FESTO)	DRRD-16-180-FH-PA

Los planos de ambas instalaciones se encuentran en el anexo

## Capítulo VI – Diseño mecánico final

### Introducción

El presente capítulo realiza una descripción de cada uno de los componentes mecánicos diseñados para la máquina. Para esto se realiza una división de la misma en subconjuntos de acuerdo a la función que cumplen:

1. Disco y sistema de giro
2. Estructura de soporte
3. Desvío a frascos
4. Aro de contención y compuerta
5. Protección contra contactos
6. Tolva y plataforma vibratoria

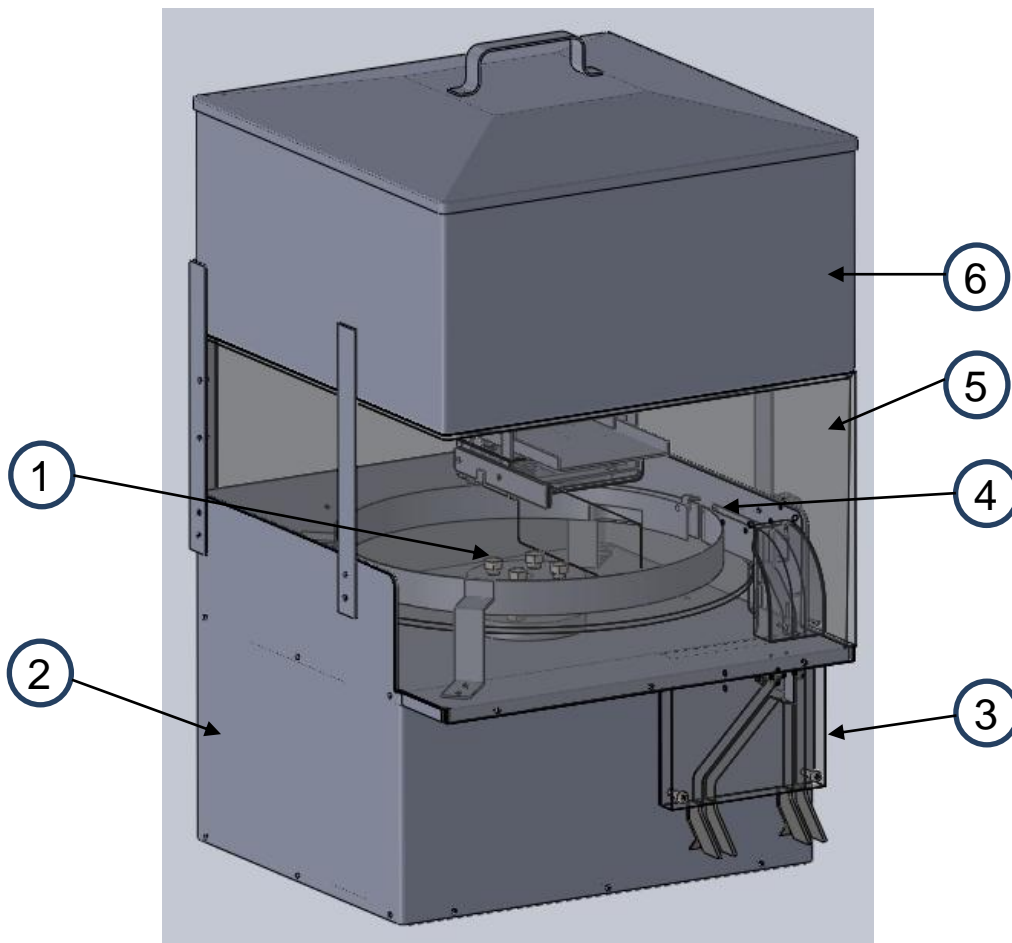


Imagen 48: Modelo contador de capsulas

El diseño mecánico de la máquina se realizó partiendo de los resultados obtenidos en el prototipo y los ensayos descritos anteriormente. Los planos de cada subconjunto mecánico se encuentran en el Anexo II

Además para la selección de los materiales a ser utilizados y el diseño de forma de los diferentes elementos, se tuvieron en cuenta las normas que reglamentan la construcción de máquinas que manipulen drogas o alimentos. A continuación se muestra un resumen de las especificaciones de las mismas.

### **Detección y prevención de riesgos**

Para el diseño higiénico de una máquina, es necesario tener en cuenta la consecuencia de todos los riesgos e integrar medidas para su eliminación o reducción. Las causas de impurezas y alteraciones al producto se listan a continuación:

- Causas biológicas: putrefacción debida a microorganismos y sus toxinas
- Causas químicas: productos de limpieza, de desinfección y lubricantes
- Materias extrañas: de las máquinas, causadas con frecuencia por la corrosión o el desgaste o debido a otras fuentes

La aplicación de las normas y directivas de diseño (EN 1672-2/EHEDG Doc. 8 y Doc. 13) y materiales (título 21 de CFR de la FDA, ISO 21469, 1935/2004/CE) proporcionan directivas para el diseño de máquinas de manera que no haya riesgo de transmitir infecciones, enfermedades ni contagios. Los principales requisitos listados en estas normas se pueden resumir en los siguientes ítems:

- Los materiales utilizados en la construcción deben ser tales que no reaccionen con el ambiente, producto y agentes de limpieza
- Se debe realizar un diseño que evite las soldaduras y pliegues con radios menores a 3mm en el área de contacto con el producto
- Debe colocarse barreras que eviten el contacto de las personas y agentes ambientales con el producto
- Se debe realizar un diseño que permita la fácil limpieza de la totalidad de la máquina, especialmente la zona de contacto



### **Las tres zonas de producción**

La norma europea EN 1672-2 define tres zonas de producción:

- La zona de contacto: Esta zona incluye todos los componentes y las partes de la instalación montados directamente en la zona de flujo del producto. Aquí el elemento que luego será ingerido por el consumidor entra en contacto con parte de la instalación pudiendo resultar contaminado y retornar al flujo de producción. Las piezas que tocan los productos se deben poder lavar y desinfectar. Deben ser resistentes a la corrosión, no tóxicas y no absorbentes. Una superficie lisa, continua o sellada reduce la adherencia de alimentos, puesto que, si es difícil eliminar los restos, surge el peligro de contaminación. Por lo demás, deben utilizarse lubricantes especiales que sean aptos para el uso alimentario.
- La zona de salpicaduras: En la zona de salpicaduras, los componentes y las piezas de la máquina pueden entrar en contacto con el producto pero éste no retorna al flujo de producción. A pesar de ello, debe planificarse y diseñarse aplicando los mismos criterios válidos en las zonas de contacto de alimentos.
- La zona sin contacto con alimentos: En esta zona, los componentes de la máquina no entran en contacto. De igual manera, las partes de las instalaciones utilizadas deben ser de un material anticorrosivo y lavable, puesto que a largo plazo pueden aparecer focos de infección.

### **Selección del material**

Durante la producción los componentes de la máquina no deben desprender sustancias nocivas o que alteren el producto tanto por contacto directo como indirecto. Para garantizar la seguridad durante la limpieza, los materiales de los componentes de la máquina no deben reaccionar al agente de limpieza ni a los químicos antimicrobianos (desinfectantes). Por lo tanto, deben ser resistentes a la corrosión, estables mecánicamente y diseñados de manera que la superficie del material no sufra alteraciones

#### Materiales convencionales

Acero inoxidable austenítico El acero inoxidable de aleación fina suele ser la opción más lógica para la construcción de una instalación en la industria alimentaria. Los materiales típicos son AISI-304, AISI-316 y AISI-316L.

Aleaciones de aluminio: El aluminio se utiliza con frecuencia para construcciones. Es económico y fácil de procesar y mecanizar. Las calidades típicas son AlMg2Mn0,8, AlMgSi1 y AlMgSi0,5. Gracias a una capa de anodizado, los componentes de aluminio pueden hacerse resistentes a los productos de limpieza.

### Materiales sintéticos

Los componentes de material sintético que pueden entrar en contacto directo con los alimentos deben cumplir las exigencias del reglamento 1935/2004/CE o de la directiva de materiales y objetos plásticos 10/2011 o poseer las certificaciones de la FDA (Food and Drugs Administration).

Explicadas las reglamentaciones a cumplir para el diseño de esta máquina se realizará una descripción de los componentes y las características de los mismos. Por otra parte los planos de la máquina se adjuntan al proyecto en el anexo

## **Disco y sistema de giro**

El sistema de giro del disco está ideado para ser de fácil armado, de componentes económicos y proveer un sistema eficaz de giro y fijación del disco. Los componentes del sistema son los siguientes:

- Disco: este elemento es un disco de acrílico de 5mm de espesor con un diámetro de 400mm, el mismo sirve para alinear las cápsulas en la periferia y de guía para el desalojo de las mismas. Se construye de acrílico transparente para permitir el pasaje del haz de luz del sensor de cuenta, sin perder la higiene del elemento, ya que se encuentra en contacto con los fármacos.
- Brida: es una pieza de acero AISI-316 (ya que se encuentra en la zona de salpicadura) que va unida al eje para sostener al disco suspendido sobre la tapa superior de la estructura de soporte. La unión al disco debe hacerse con 4 tornillos de acero inoxidable ya que están en contacto con las cápsulas
- Eje: es un eje de acero, que provee un tope para la colocación de los rodamientos que asegura la posición en altura del disco y aros seeger para la fijación de los rodamientos a ambos extremos. Los rodamientos a usarse sobre el mismo son rodamientos rígidos de bolas
- Soporte eje: este elemento es el que se fija a la tapa superior del cuerpo, por medio de 4 tornillos, y provee soporte y posición a los rodamientos que sostienen al eje, su construcción deberá ser de acero pintado.

- **Soporte motor:** este elemento es una chapa de 2mm de espesor con 7 agujeros, 4 para los tornillos de soporte/distanciamiento del mismo y 3 para los tornillos de fijación del motor
- **Distanciadores:** son vainas para los tornillos de fijación que aseguran la posición vertical del motor y dan un elemento de ajuste a estos tornillos para resistir el torque del motor
- **Motor:** es un conjunto motor y caja de reducción de 24 V con una salida de 30RPM y con el torque necesario para romper la inercia del disco de acrílico y entrar en régimen en poco tiempo, permitiendo la rápida puesta en marcha de la máquina
- **Acople:** este elemento es un acople de goma para unir el motor con el eje del disco y absorber las pequeñas desalineaciones que pueden haber entre ellos.

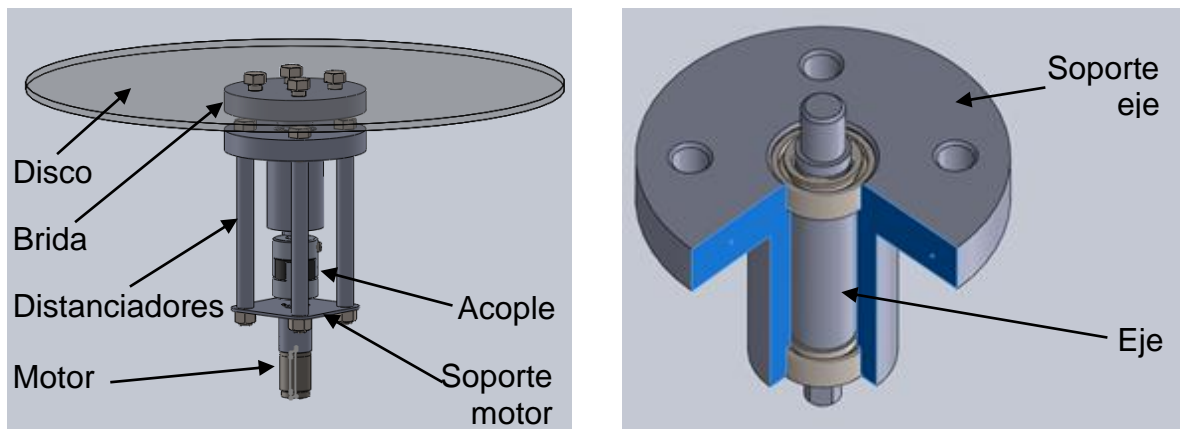


Imagen 49: Disco y sistema de giro – Plano ref. PI-119-00-00

El sistema va sujeto a la tapa superior como se muestra en la figura

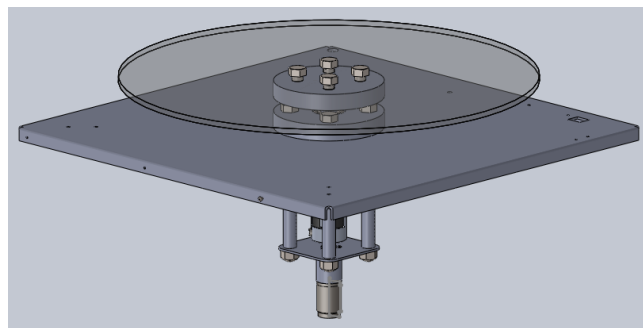


Imagen 50: Vínculo a estructura

## **Estructura de soporte**

Este elemento será el chasis de la máquina, se propuso construirlo de forma cúbica para hacer un elemento modular, de fácil adaptación a los espacios. El material seleccionado para la construcción fue chapa de acero AISI-316 de 2mm de espesor, para darle resistencia a la estructura sin necesidad de hacer pliegues o nervios a tal fin.

La estructura está dividida en 4 partes:

- El cuerpo que es el soporte donde descansa la tolva y donde se apoyan las protecciones de la máquina y los otros dos elementos de la estructura soporte. Es aproximadamente un cubo de 400mm de lado con ciertos recortes y perforaciones para facilitar la colocación de los elementos sobre él. En la parte trasera cuenta con una puerta que permite el acceso al motor eléctrico y un actuador neumático.
- Una tapa superior donde se soporta el disco y mecanismo de giro y que sirve como división entre el espacio donde circulan las cápsulas y la zona donde se encuentra el motor eléctrico y el mecanismo encargado de proveer el movimiento
- Una tapa inferiores un cuadrado de chapa con 4 pies que provee un cierre inferior al cuerpo para evitar el ingreso de polvo y partículas del ambiente, además de facilitar el apoyo de la máquina
- Una tapa trasera para permitir el acceso a los componentes alojados en el interior

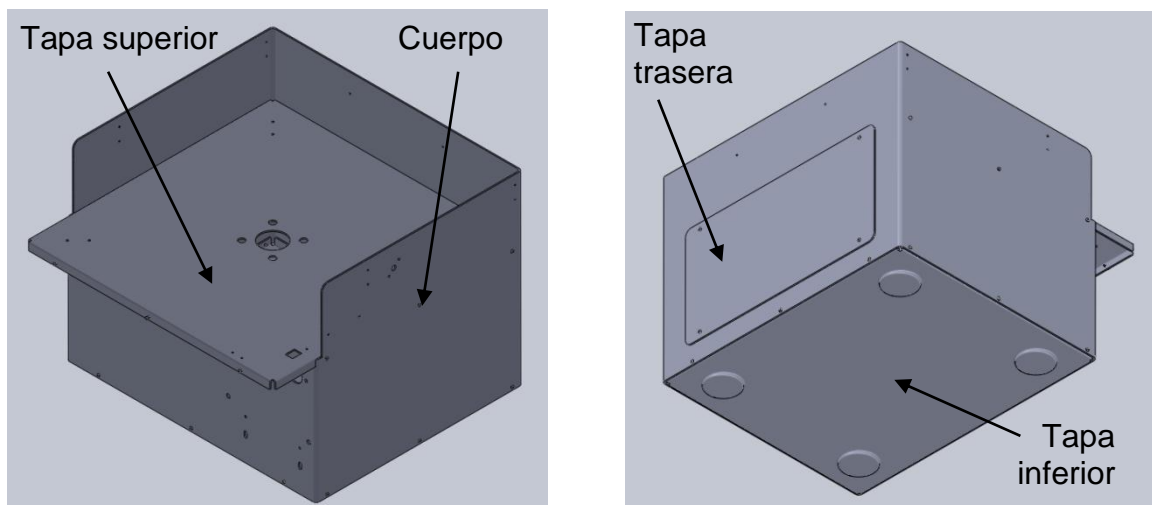


Imagen 51: Estructura de soporte – Plano ref. PI-104-00-00





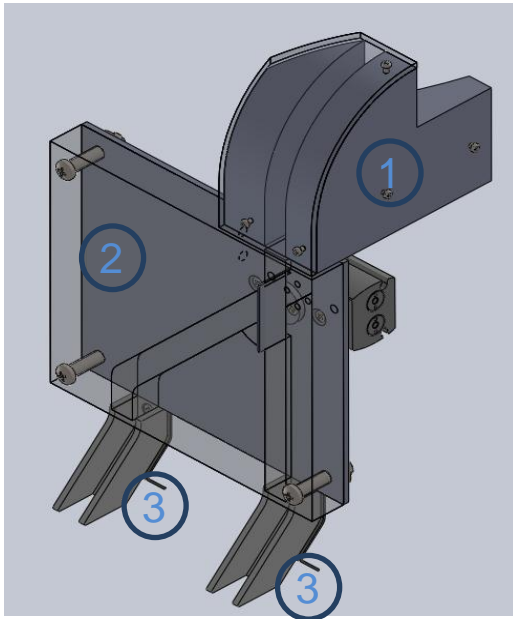
Como se observa, además de hacer todos los pliegues de 5mm de radio, los tornillos de unión entre estos componentes están situados en la zona sin contactos con alimentos para prevenir la mayor cantidad de áreas de difícil limpieza. Sobre la tapa superior y la estructura se proveen orificios sólo para el soporte de las piezas que por construcción es indispensable la ubicación sobre ellas. De todos modos no existen piezas soldadas en esta área, haciendo posible el desarme y fácil limpieza.

### **Desvío a frascos**

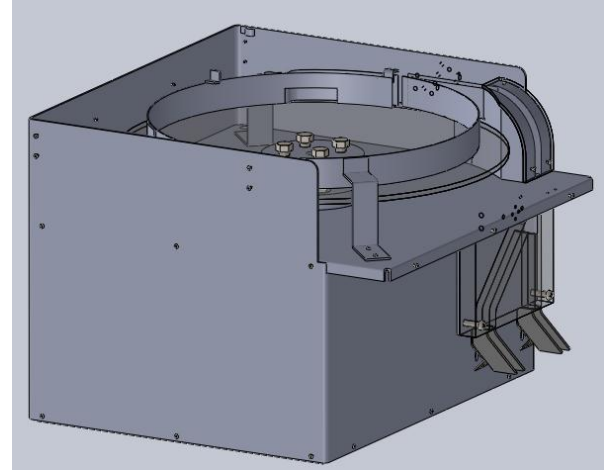
Denominaremos recorrido a frascos al camino que deben hacer las cápsulas para llegar a los frascos correspondientes una vez contadas y fuera de la compuerta. El recorrido consta de tres tramos bien diferenciados, todos construidos de acrílico por motivos de higiene y para permitir la visualización a través de ellos, para que en caso de producirse un atascamiento de cápsulas sea fácil de encontrar y remover el bloqueo. Por otra parte todos los tramos constan con tapas para permitir la limpieza de los mismos. Los tres sectores son los siguientes:

1. Desvío de dirección: este se encuentra a la salida de la compuerta y es el encargado de cambiar la dirección de una tangente al disco a una caída libre, hacia donde se encuentran los frascos
2. Desvío de frascos: este es el encargado de direccionar las cápsulas hacia el frasco que se encuentre con la cuenta en proceso y realizar el cambio en el momento justo luego de alcanzado el valor objetivo. Por este motivo cuenta con una compuerta accionada por un actuador neumático
3. Tobogán a boca de frasco: este elemento es un recorrido que debe diseñarse de acuerdo al tamaño de los frascos a llenarse, el objetivo es guiar las cápsulas hasta la boca del frasco. Se provee por separado para que siendo un elemento hecho a medida se logre dar la mayor adaptación posible de la máquina al proceso

A continuación se muestran imágenes de los mismos y su ubicación en la máquina



**Imagen 52: Desvío a frascos**  
Plano ref. 1 – PI-112-00-00  
2 – PI-114-00-00  
3 – PI-122-00-00

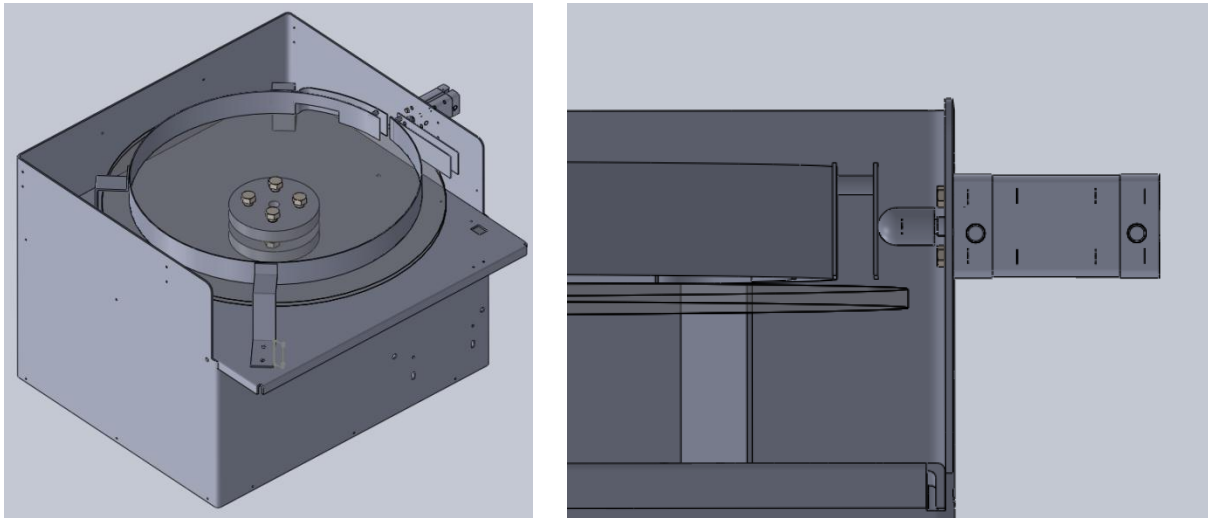


**Imagen 53: Vinculo a estructura**

### **Aro de contención y compuerta**

Estos elementos están hechos de chapa de 1mm de espesor de acero inoxidable. El aro de contención es un aro de 30mm de altura y un diámetro de 360mm con un corte y una apertura a 100mm del corte como lo muestra la imagen, la compuerta consta de una porción del aro con un diámetro de 380mm que inicia en la apertura del aro de contención y termina en el corte del mismo, para luego convertirse en dos chapas rectas de 30x100mm paralelas distanciadas 10mm por medio de dos separadores y una de ellas soldada al aro de contención.

Este sistema tiene dos posiciones de referencia: “abierto” cuando las cápsulas pueden entrar a la zona recta de la compuerta y salir a los frascos o “cerrado” cuando las cápsulas quedan girando en el interior del aro de contención. El accionamiento entre ambas posiciones es ejecutado mediante un cilindro neumático como se muestra en la figura.

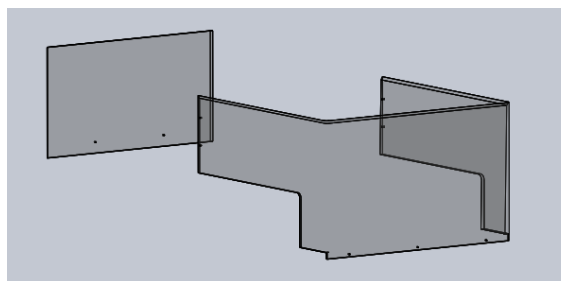


**Imagen 54: Aro contención y compuerta - Plano ref. PI-108-00-00**

La fijación de estos elementos se realiza en la zona de salpicaduras, por lo que debe hacerse con tornillos de acero inoxidable, por otra parte se hace de manera que sea fácil su desarmado para limpieza, de modo de posibilitar la correcta higiene de la misma y prevenir la creación de un foco de contaminación.

### **Protección contra contactos**

Se colocaron dos tapas de acrílico como medida de protección para el operario, tanto como para generar una aislación de la zona de presencia de las cápsulas con el ambiente externo. La construcción de las mismas en acrílico se llevó a cabo para permitir la visibilidad del mecanismo y posibilitar la detección de un mal funcionamiento. Estas tapas se fijan mediante tornillos a la estructura y poseen dos sensores de presencia para habilitar el funcionamiento de la máquina sólo si estas se encuentran en posición.



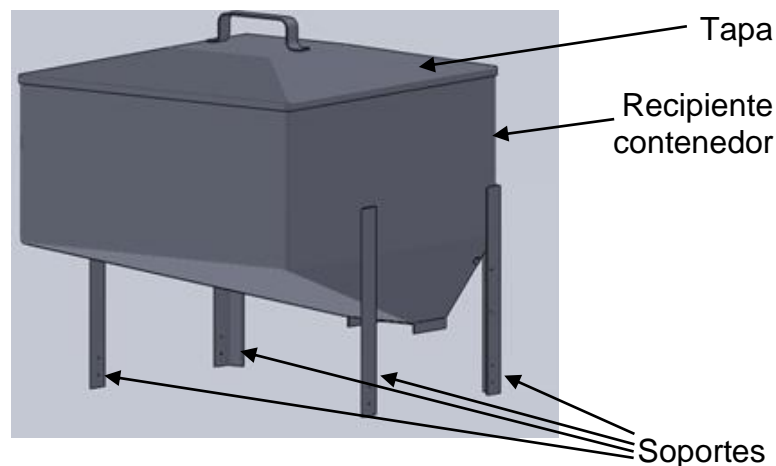
**Imagen 55: Protección contra contactos**  
Plano ref.      Frente: PI-101-00-00  
Trasero PI-101-00-00

## **Tolva y plataforma vibratoria**

Este conjunto es el elemento que permite almacenar las cápsulas a granel y proveer a la máquina de cierta autonomía, calculada para hacer el tiempo entre recarga de tres horas de funcionamiento continuo. Los elementos están contruidos de acero AISI 316L, ya que la mayoría están soldados entre ellos para prevenir colocar tornillos (que son elementos propensos a crear focos de contaminación) que estén en la zona de contacto con el producto

- **Una tapa:** Este elemento permite el llenado de la misma y el cierre posterior, evitando el ingreso de polvo o partículas que se encuentren en el ambiente, además de proveer un límite de llenado de la tolva
- **El recipiente contenedor:** Es un tetraedro, formado por lados de 400x400mm y 400x200mm, de chapa que termina en un embudo con forma de tronco piramidal con las superficies abiertas de 400x400mm y 100x100mm que facilita la regulación de la salida de cápsulas
- **Soportes de la tolva:** Los soportes de la tolva son 4 perfiles de acero AISI 316L, dos planchuelas y dos perfiles “L” ambos de 1” de lado y 250mm de longitud soldados en la parte exterior de la tolva. Estos poseen 2 agujeros cada uno para atornillarse al cuerpo de la máquina, permitiendo el reemplazo de la tolva por una de dimensiones diferentes o su eliminación si se provee una salida de cápsulas regular de otra máquina directamente en el disco (dando mayor nivel de automatización al proceso)

La siguiente es una imagen de los elementos descritos anteriormente



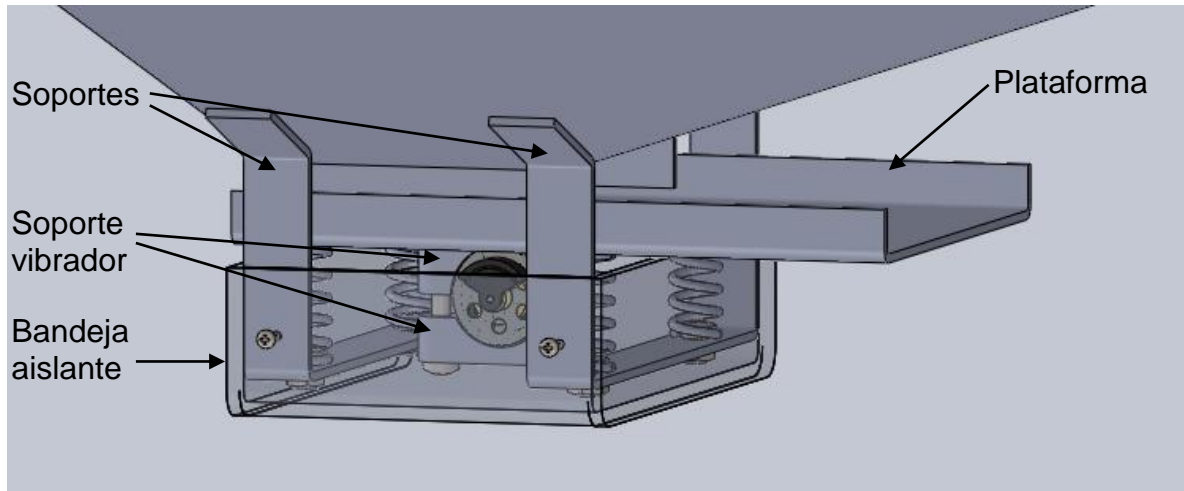
**Imagen 56: Tolva**  
Plano ref. Tapa: PI-115-00-00  
Contenedor: PI-116-00-00



Debajo de la misma se encuentra un conjunto de elementos encargados de regular la velocidad de evacuación de las cápsulas, evitando así la falta de alimentación del disco giratorio tanto como el rebalse del mismo. Los elementos del mismo son los siguientes:

- Soportes: son dos planchuelas acero AISI 316L, que se sitúan debajo de la tolva y van soldadas a la misma. Estas proveen una superficie plana para la colocación de los resortes que soportan la plataforma vibratoria. Como elementos extra, sobre esta va situado el sensor de rebalse del disco y un soporte para una guía flexible que empuje las cápsulas a la periferia del disco giratorio
- Resortes: sobre los soportes van colocados 4 resortes que dan rigidez a la plataforma pero permiten su vibración. La rigidez de los mismos se dimensionó para permitir una variación de 2mm en la altura de la plataforma, suponiendo la tolva totalmente vacía o llena. La fijación de los resortes se hace mediante 4 tornillos y tuercas con los soportes y soldados con la plataforma, para evitar colocar tornillos que creen una zona de contaminación de las cápsulas
- Plataforma: este elemento es el limitador y la guía de salida de las cápsulas, descargándolas justo después de la compuerta de salida del disco, dándole a las cápsulas todo el giro del disco para acomodarse en la periferia del mismo. A su vez genera el contrapeso que delimita la dimensión de la vibración, regulando el avance de las cápsulas (esto es debido a que el peso de las cápsulas avanzando sobre la misma es despreciable)
- Soporte vibrador: es el elemento de fijación del vibrador a la plataforma, está constituido de dos cuerpos, uno superior soldado en la parte inferior de la plataforma y uno inferior unido por dos tornillos al soporte superior que dan el apriete necesario para fijar el motor y permite la remoción del mismo.
- Vibrador: es un motor especial con bujes reforzados y un contrapeso que se encarga de proveer la fuerza que hace oscilar la plataforma
- Bandeja aislante: se provee a su vez con una bandeja de acrílico que se fija en la parte inferior de los soportes de la plataforma para hacer que el área donde se encuentra el motor pase a ser zona sin contacto, ya que se encuentra aislada del recorrido de las cápsulas. Este elemento va fijado a los soportes mediante tornillos de acero inoxidable

A continuación se provee una imagen de los elementos descritos anteriormente



**Imagen 57: Plataforma vibratoria - Plano ref. PI-117-00-00**

Por último en los dos tornillos que se ven en la imagen anterior se encuentra una fijación para una guía flexible que empuja las cápsulas hacia la periferia del disco, ayudando la evacuación de las mismas.

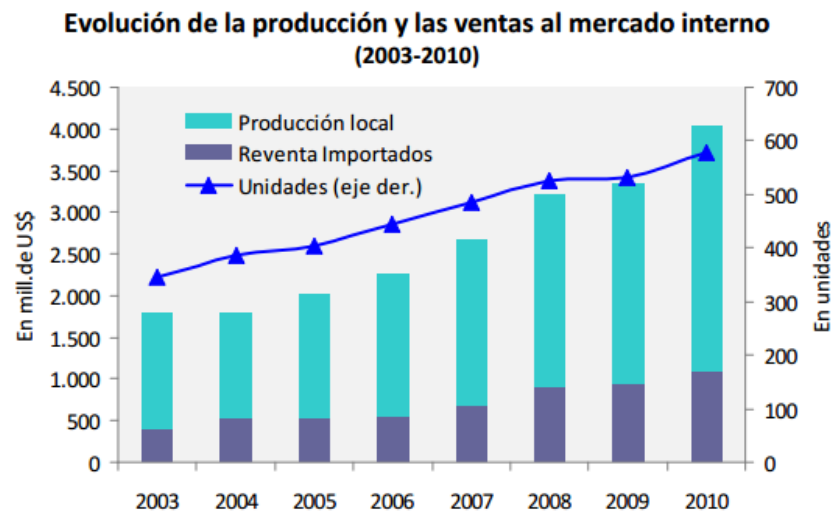
## Capítulo VII – Análisis económico

### Análisis de costo-beneficio

#### Análisis de conveniencia del proyecto

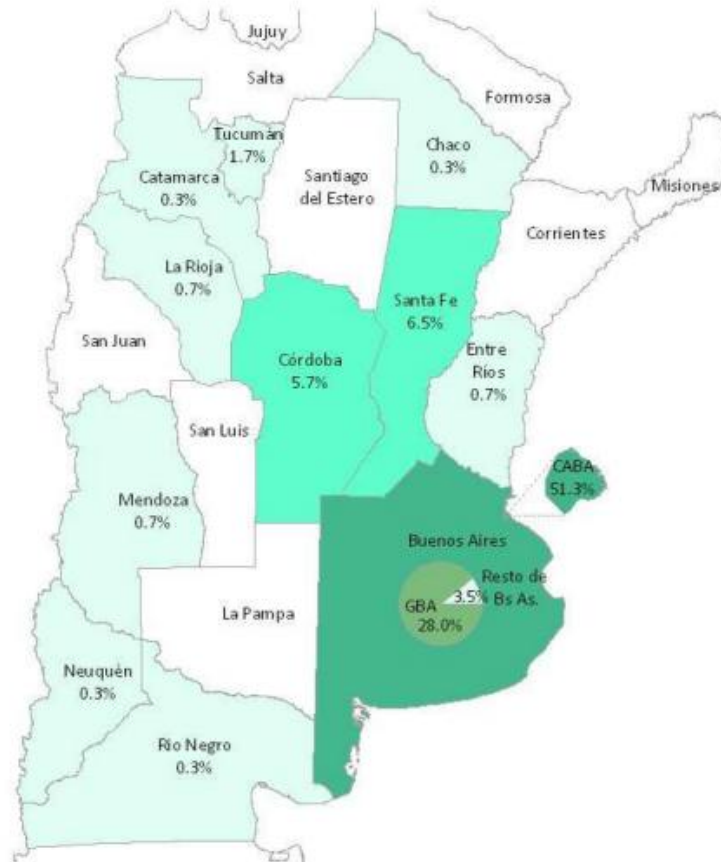
Al momento del diseño de la máquina resulta indispensable pensar la necesidad que impulsa la fabricación y la conveniencia de la misma. En cuanto al contador de cápsulas las respuestas a estos interrogantes vienen dadas por los siguientes motivos:

- El pedido del diseño de una máquina de estas características fue realizado hace más de 2 años y aún se encuentra vigente, lo que dice que no es un producto que se fabrique en la zona
- Las políticas de cierre de importación y de subsidios a los nuevos emprendimientos instauradas actualmente en la argentina obligan a los pequeños y medianos productores a implementar maquinaria nacional para llevar a cabo sus procesos, mercado al que va dirigida esta máquina
- Si observamos los siguientes gráficos obtenidos de la Dirección de Información y Análisis Regional (con base en el INDEC)



Podemos observar que la producción y venta de medicamentos por parte de empresas radicadas localmente ha crecido en gran medida en los últimos años, por otra parte la provincia de Córdoba se ubica como cuarta provincia productora de medicamentos

### Localización geográfica de los laboratorios



En conclusión los indicadores señalan en gran medida la conveniencia de proyectos en relación a la mejora de procesos de producción de fármacos, justificando el diseño de esta máquina.

### Costos de fabricación

Los costos de construir esta máquina se pueden dividir en dos grupos:

- Los costos de desarrollo: estos incluyen los costos de los elementos utilizados como prototipo más el costo del trabajo de ingeniería destinado a encontrar mejoras para llegar a un diseño final de la máquina, los mismos se deben amortizar en el lote de producción que se espera vender
- Los costos de producción: conformados por los costos de los materiales y mano de obra utilizados en el proceso de fabricación de cada máquina





A estos valores se debe sumar el beneficio que se desea obtener y por último los impuestos, que no se tendrán en cuenta debido a la variabilidad de los mismos de acuerdo al tipo de venta que se lleve a cabo.

#### Costos de diseño:

El diseño de la máquina contó con dos grandes columnas que influyen en el costo de la misma, el costo de los prototipos que se utilizaron para probar la eficacia de los mecanismos y el costo de ingeniería para llevar a cabo el diseño de los mismos y el desarrollo hacia el proyecto final.

Para obtener el costo de los prototipos utilizados partimos del dinero invertido en ellos.

Descripción	Costo [\$]
Prototipo de base (de acuerdo a tesis Ing. Agüero)	23500
Mejoras prototipo de base	200
Prototipo tolva	200
Prototipo ensayo mecanismo alternativo	1000
Desarrollo de ingeniería (estimado como 3 meses de trabajo, 480hs, de un equipo de \$200 la hora)	96000
<b>TOTAL</b>	<b>120900</b>

Aunque puede parecer alto el costo del desarrollo en relación a los elementos utilizados, se debe tener en cuenta que el resultado es el diseño de un mecanismo de cuenta y una máquina que lo utiliza con la capacidad de llevarlo a la práctica. Los resultados del mismo podrán ser utilizados para la fabricación de una cantidad indeterminada de máquinas, haciendo disminuir la influencia del costo del desarrollo conforme aumente la cantidad de ventas

#### Los costos de producción:

Para los costos de producción se supondrá una primera venta de 10 unidades, por lo que no se justificaría la producción de manera local de los componentes, sino el pedido de fabricación de los mismos a medida por parte de talleres de la zona. Por esto todos los componentes se tomarán por precio unitario y la mano de obra detallada al final será por el armado de la máquina



<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b> [\$]	<b>Costo máquina</b> [\$]
<b>Elementos eléctricos</b>			
Cable unipolar 1mm <sup>2</sup>	10mts.	3	30
Interruptor termomagnético bipolar SIEMENS (440Vca-2A)	2	250	500
Fuente SITOP S7-1200 110/220Vac-24Vdc 2,5A	2	1500	3000
PLC SIEMENS SIMATIC S7-1212	1	6000	6000
Pantalla SIEMENS KTP 600 Basic Monocromo PN	1	8000	8000
Fusible cristal 250V 1A 5x20mm	14	2	28
Borne doble piso portafusible seccionable ZOLODA	14	35	490
Conjunto minirelé SIEMENS zócalo+módulo 24Vcc	4	250	1000
Motor vibrador precisión microdrives 24V	1	500	500
FAULHABER micromotor 24Vcc	1	600	600
FAULHABER cabezal reductor planetario	1	900	900
Solenoide electroválvula 3/2 monoestable (FESTO)	1	200	200
Solenoide electroválvula 5/2 monoestable (FESTO)	1	200	200
Amplificador óptico efector200	1	300	300
Cable fibra óptica con sensor	2	75	150
Amplificador óptico efector200	4	200	800
Cable fibra óptica con sensor	4	60	240
Conector eléctrico para amplificador efector200 serie OBF	5	35	175
<b>SUBTOTAL</b>			<b>23113</b>
<b>Elementos neumáticos</b>			
Tubo flexible 8mm	10m	200	200
Conector hembra (acople rápido ingreso de línea)	1	60	60
Conector manguera/válvula tipo "T" (8mm-G1/8)	1	45	45
Conector racor (8mm-G1/8)	8	35	280
Unidad de mantenimiento(cierre, filtro/regulador, lubricador)	1	3500	3500
Electroválvula 3/2 monoestable (FESTO)	1	700	700
Electroválvula 5/2 monoestable (FESTO)	1	900	900
Cilindro compacto serie ADN (FESTO)	1	1200	1200
Actuador giratorio Serie DRRD (FESTO)	1	2000	2000
<b>SUBTOTAL</b>			<b>8885</b>



<b>Elementos mecánicos</b>			
Tapa de tolva	1	400	400
Tolva (incluye soportes y plataforma vibratoria)	1	2000	2000
Tornillo ISO2010 M5 L=10mm con tuerca (acero inoxidable)	4	10	40
Resortes	4	7	28
Soportes motor	1	10	10
Tornillo ISO1580 M4 L=20mm (acero inoxidable)	2	15	30
Soportes ángulo	2	50	100
Soportes planchuela	2	50	100
Protecciones acrílico (delantera y trasera)	1	350	350
Estructura (caja, tapa superior, inferior y de acceso)	1	1700	1700
Aro contención	1	300	300
Desvío cápsulas	1	300	300
Conjunto selector frasco	1	600	600
Tornillo ISO1580 M5 L=30mm con tuerca y arandela plana (acero inoxidable)	3	22	66
Tornillo ISO2010 M3 L=30mm con tuerca y arandela plana (acero inoxidable)	2	25	50
Tornillo ISO2010 M3 L=10mm (acero inoxidable)	2	7	14
Disco acrílico	1	70	70
Tornillo ISO4017 M10 L=16mm (acero inoxidable)	4	15	60
Tobogán a frascos	2	30	60
Tornillo ISO2010 M3 L=10mm con tuerca (acero inoxidable)	2	9	18
Soporte disco acrílico	1	200	200
Soporte rodamientos	1	500	500
Tornillo ISO4017 M10 L=150mm con tuerca (acero inoxidable)	4	35	140
Soporte motor (con distanciadores)	4	12.5	50
Rodamientos SKF 61902 (D <sub>i</sub> =15mm D <sub>e</sub> =28mm A=7mm)	2	100	200
Aro seeger D <sub>i</sub> =12mm D <sub>e</sub> =23mm	2	10	20
Eje disco	1	120	120
Acople LOVEJOY TIPO L050-6mm	1	150	150
Acople LOVEJOY TIPO L050-10mm	1	150	150
Manchón de goma LOVEJOY SOX (NBR) (Solid)	1	70	70
<b>SUBTOTAL</b>			<b>7896</b>



<b>Armado</b>			
Mano de obra	15hs	70	1050
Tornillos ISO 7049 N°2 L=3/4" (acero inoxidable)	100	3	300
<b>SUBTOTAL</b>			<b>1350</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$41244</b>

Previendo un lote de 10 máquinas, el costo del total de la producción, suponiendo una reducción de un 10% en los costos unitarios debida a la cantidad:

$$TOTAL_{LOTE} = (TOTAL_{UNITARIO} \times 0.9) \times 10$$

$$TOTAL_{LOTE} = (\$41244 \times 0.9) \times 10 = \$371196$$

Precio de venta (sin impuestos)

Para sacar el precio de venta debemos sumarle al costo de producción del lote el costo de desarrollo:

$$COSTO\ LOTE = TOTAL_{PRODUCCION\ LOTE} + DESARROLLO$$

$$COSTO\ LOTE = \$371196 + \$120900 = \$492096$$

$$COSTO\ UNITARIO = \frac{COSTO\ LOTE}{10}$$

$$COSTO\ UNITARIO = \frac{\$492096}{10} = \$492096$$

Suponiendo una ganancia del 30%, el precio de venta sin impuesto de cada máquina sería de

$$PRECIO\ VENTA = 1.3 \times COSTO\ UNITARIO$$

$$PRECIO\ VENTA = 1.3 \times \$492096$$

$$PRECIO\ VENTA = \$63972.5 \cong \$65000$$

A este precio de venta se deberán agregar los impuestos dependiendo del tipo de venta que se lleve a cabo, motivo por el cual no realizamos el cálculo

**Análisis de conveniencia de implementación**

Para analizar la conveniencia de la máquina, realizaremos una comparación puramente económica, sin tener en cuenta otros beneficios que acarrea la automatización de un proceso como lo son la mayor trazabilidad y estandarización de los procesos, la reducción de riesgos de accidentes y de contaminación del producto y un flujo de producción más parejo y continuo.

Se observó mediante la búsqueda de videos de venta de plantillas de llenado de frascos que una persona demora, dependiendo del método utilizado, para llenar una plantilla y colocarla en el frasco los siguientes tiempos:

<b>Cápsulas por frasco</b>	<b>Tiempo[seg]</b>	<b>Velocidad [cápsulas/min]</b>
30	20-25	72-90
60	30-37	97-120
100	40-50	120-150

Aunque estaríamos sobreestimando el operador, ya que son tiempos tomados de videos de venta de estos elementos, podemos suponer que durante las 8 horas de trabajo el operador realiza 4hs con la máxima velocidad de cuenta y 4hs con la menor velocidad. Dando entonces:

<b>Cápsulas/frasco</b>	<b>Cápsulas en primeras 4hs</b>	<b>Cápsulas en segundas 4hs</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Cant. Frascos</b>
30	21600	17280	38880	1296
60	28800	23280	52080	868
100	36000	28800	64800	648

Ahora tomando los valores de la máquina contadora de cápsulas, para la que se obtuvieron velocidades de entre 160-180 cápsulas por minuto, tomando como promedio 170 cápsulas por minuto los resultados serían

<b>Cápsulas/frasco</b>	<b>Cápsulas 8hs</b>	<b>Cant. Frascos</b>
30	81600	2720
60	81600	1360
100	81600	816



Realizando la comparación de productividad

<b>Cápsulas/frasco</b>	<b>Cant. Frascos (máquina)</b>	<b>Cant. Frascos (operario)</b>	<b>Aumento productividad [frascos]</b>	<b>Aumento productividad [%]</b>
30	2720	1296	1424	110%
60	1360	868	492	57%
100	816	648	168	25%

Sin saber el costo del producto podemos comparar el costo del operario que realiza la cuenta, suponiendo un sueldo de \$10000/mes, el tiempo que se demora en amortizar la máquina, dependiendo del contenido de cápsulas por frasco, sería el siguiente

<b>Cápsulas/frasco</b>	<b>Aumento productividad [%]</b>	<b>Ahorro por mes en salario [\$]</b>	<b>Costo de la máquina [\$]</b>	<b>Tiempo de amortización [años]</b>
30	110%	11000	65000	0.5
60	57%	5700	65000	1
100	25%	2500	65000	2.15

Por lo que la implementación de esta máquina en un proceso de cuenta de cápsulas resultaría amortizada en un período de entre 0.5 y 2.15 años según el tamaño de los frascos de cápsulas, un valor más que razonable para la implementación de una nueva máquina en un proceso productivo.



## Capítulo VIII - Conclusión

Una vez finalizado el diseño, creo que se ha encontrado con este proyecto un sistema de cuenta innovador, de enorme simplicidad y robustez, que cumple con las normas de higiene necesarias para poderse implementar en un proceso de fabricación de cápsulas que no necesite una velocidad de cuenta muy elevada. Quedando pendiente la construcción de la primera máquina de línea para observar su adaptación a la industria y obtener de ella un valor de vida útil dentro de la misma, tiempo que debería ser bastante alto teniendo en cuenta la sencillez de la máquina y los bajos niveles de carga a soportar

Por último, al finalizar la segunda experiencia como parte de un equipo de desarrollo de proyectos dentro del GRSI de la facultad, he observado que existe en la facultad un espacio muy poco aprovechado que presta la posibilidad de iniciarse en la práctica de la ingeniería buscando la generación soluciones a problemas que afrontan las industrias locales. Por esto, y teniendo en cuenta que al observar el comportamiento de un prototipo muchas veces se encuentran elementos que se omitirían al hacerse sólo un desarrollo teórico, creo que debería fomentarse la implementación de un mayor desarrollo práctico de los proyectos integradores, dejándolos documentados y permitiendo al estudiante que sigue dar un paso adelante en el tema, buscando a largo plazo una relación más íntima con la industria local y profesionales más adaptados a la necesidad de la región.







## **Bibliografía**

- Información en forma de Getting Started (TIA Portal)
- Tutoriales TIA Portal
- Tutoriales Solid Works
- Normas de representación en ingeniería
- Normas de seguridad e higiene de maquinaria en contacto con fármacos
- Catálogos de componentes – hojas de datos (ANEXO III)



# **ANEXOS**



## **ANEXO I**

### **Mecanismo de cuenta alternativa**



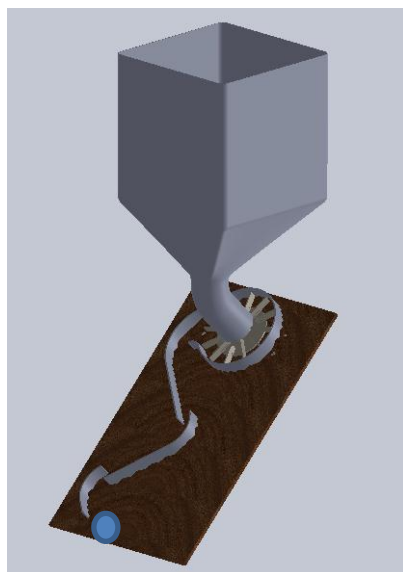


## Introducción

Una vez finalizado el recorrido por las alternativas existentes en el mercado factibles de ser mejoradas y adaptadas a los requerimientos de la cuenta de cápsulas, se planteó la idea de un sistema innovador, no utilizado aún, que permitiría una buena velocidad de cuenta con un mecanismo fácil de construir y un tamaño compacto. Dados los eventuales beneficios de la propuesta, se decidió realizar un par de pruebas para verificar la factibilidad del funcionamiento de este sistema y en caso de darse proceder con el mismo, o en caso contrario limitarse a realizar mejoras al sistema de disco giratorio seleccionado en el capítulo anterior.

El sistema comprendería una tolva, donde se cargan las cápsulas a granel, que posee una salida circular con un diámetro a definir empíricamente en base al resultado de los ensayos. En esta salida se encontrará un dosificador, encargado de regular el caudal de cápsulas que tendrá la forma de disco con paletas con un borde semicircular que hace de bloqueo, pero que al ir girando irá exponiendo diferentes salidas al sector sin restringirlo. En este momento las cápsulas alojadas entre paletas saldrían para continuar desplazándose a lo largo de un circuito, que se deberá desarrollar experimentalmente, con el objetivo de alinear las cápsulas desordenadas para que pasen por el sensor de cuenta y la compuerta de salida para finalmente desembocar en los frascos.

El siguiente sería el esquema del sistema:



- En este sector se deberá colocar el sensor y la compuerta y debajo una guía hacia los frascos

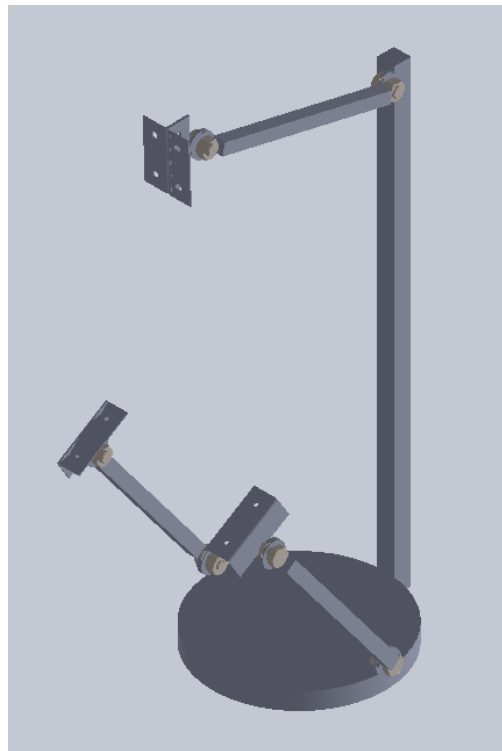
## Ensayos

### Descarga de cápsulas

Se diseñó un prototipo donde se buscó obtener el mejor diámetro de salida de las cápsulas, la altura de apilamiento a partir de la cual se aplastan las cápsulas, la mejor inclinación y el recorrido de las cápsulas para lograr su alineación.

Se pretendía que una vez logrados estos resultados, proceder a verificar la viabilidad del sistema y eventualmente optimizar el diseño y completar el sistema.

El primer paso fue construir una estructura que pudiese sostener una placa sobre la que se monta el motor y los diferentes circuitos que recorrerán las pastillas y, por otro lado un elemento que simule la tolva y que permita variar las distancias e inclinación de los elementos. La estructura resultante fue el siguiente:

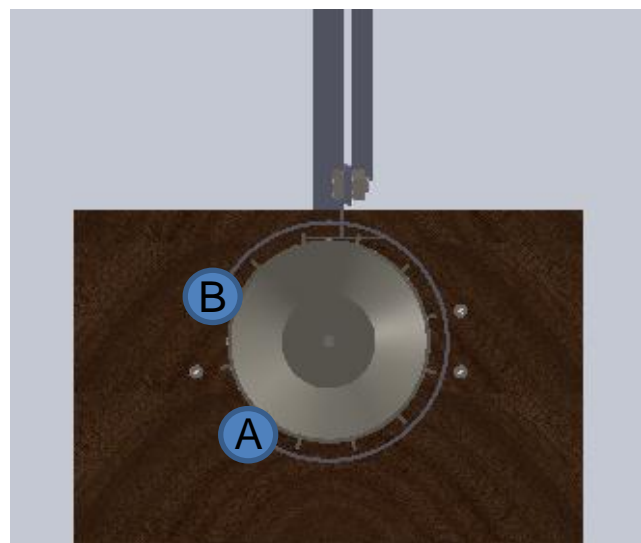
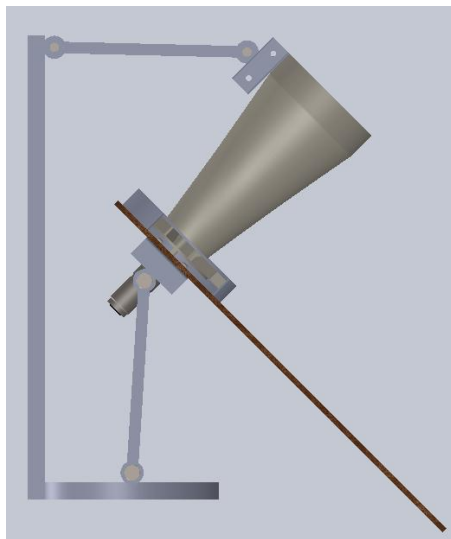
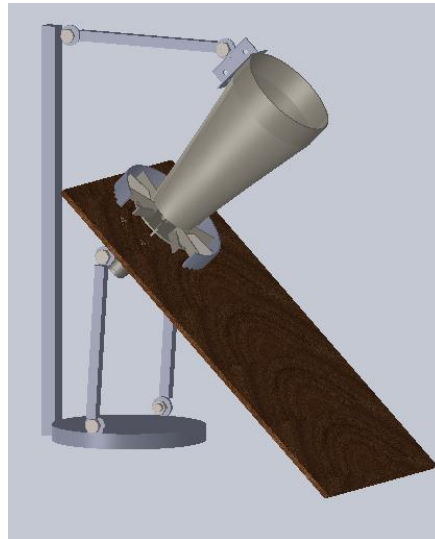


A continuación se montaron sobre el un vaso plástico para simular la tolva, ya que posee una salida circular con diámetro variable a través del largo y a la salida de este se colocó el motor con las paletas de un ventilador montados sobre la placa en la que se dispondrán los diferentes recorridos de las cápsulas. Sobre este prototipo se procedió a recortar el vaso a alturas progresivas hasta lograr un flujo de cápsulas continuo a través de las paletas del ventilador, que se logró con un  $\varnothing=50\text{mm}$  ubicado 2mm sobre las paletas que





giran. Cuando se obtuvo este flujo se colocó un aro de cierre de la salida para limitar la zona de descarga como se muestra a continuación, variando la dimensión de la apertura y la posición de la misma, se obtuvo que la mejor disposición es la siguiente



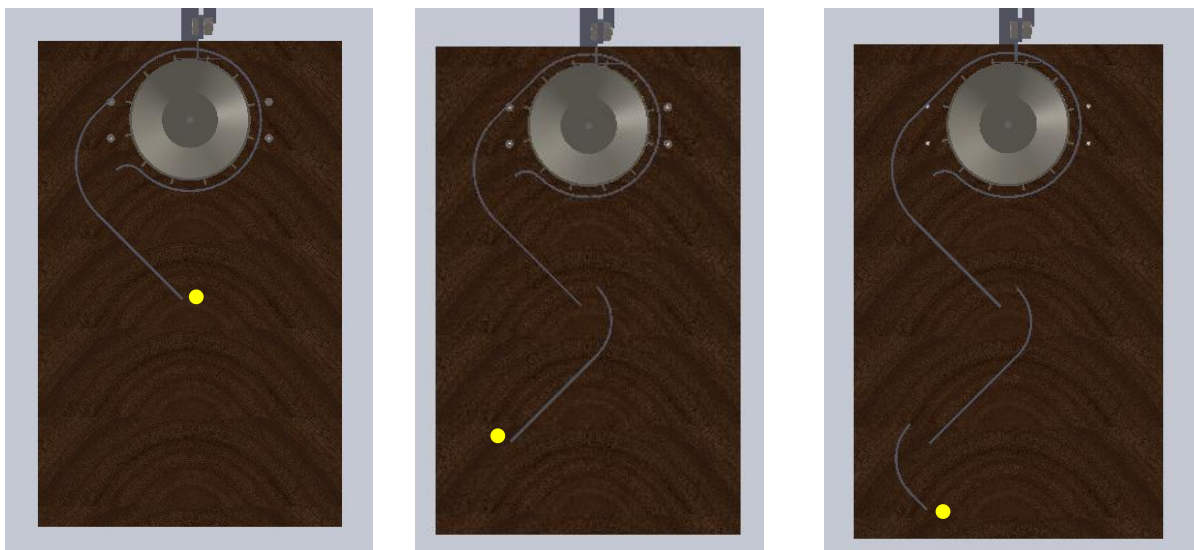
ya que en la zona "A", ubicada a  $30^\circ$  de la normal, se provee una descarga continua de cápsulas mientras que en la zona "B", que forma un ángulo de  $90^\circ$  respecto de "A", se corta la salida dando un buen lugar para iniciar el cierre sin correr riesgo de romper cápsulas.

### Altura de tolva

Obtenidos estos valores se reemplazó el vaso por un caño plástico de este diámetro y una altura de 1000mm para ver a que valores de presión dada por el peso de las cápsulas se comprimían y rompían entre ellas. En la experiencia se obtuvo que incluso con el caño lleno no se obtenían cápsulas rotas, por lo que no debería haber problemas en hacer una tolva de hasta 1000mm de altura, un valor supuesto más que suficiente para una tolva de cápsulas de tan pequeño tamaño

### Recorrido de salida

Se procedió a realizar diferentes recorridos que permitan a las cápsulas ganar velocidad gradualmente, a su vez que al ir chocando contra las paredes del recorrido alinearse sobre ellas. Los caminos probados son los siguientes:

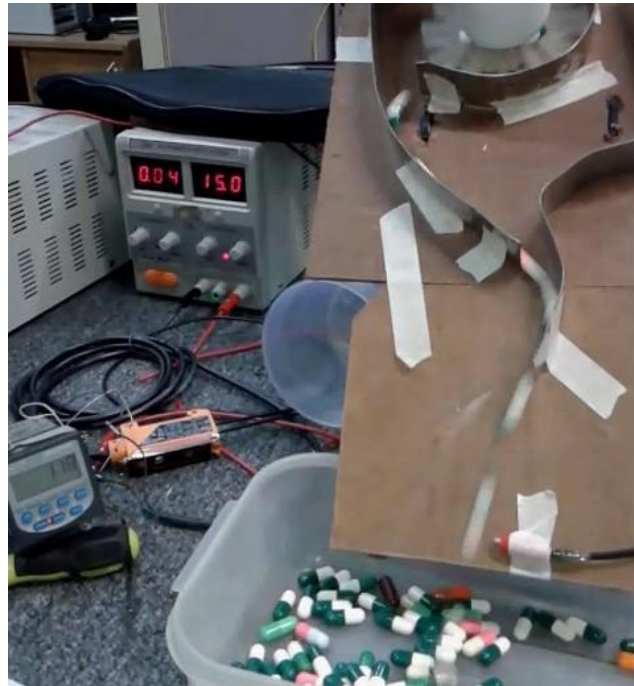


Se encontró que los mejores resultados se obtienen con una placa inclinada a  $45^\circ$  y dando el mismo ángulo a las salidas de las curvas, ya que estos valores proporcionan la misma normal por parte de las cápsulas sobre el piso y las paredes del camino.



## Cuenta

Dados los buenos resultados obtenidos por las experiencias anteriores, se prosiguió a colocar un sensor en la salida (punto amarillo de las figuras) para contar las cápsulas y evaluar los resultados. La experiencia consistió en llenar el caño con 200 cápsulas, encender el motor y ver la cuenta que acusaba el sensor



El ensayo fue repetido 30 veces con variaciones en la posición del sensor, arrojando en todos los casos un valor en la cuenta de entre 185-196 cápsulas, observándose que se contaban cápsulas de menos.

Se adjudicó el error a dos posibles causas: una baja velocidad de cuenta del conjunto sensor-contador o el pasaje cápsulas superpuestas frente a él. Para llegar a una conclusión se colocó un canal por el que solo pasen las cápsulas de a una y alineadas frente al sensor, de modo que si persistía el error, el problema sería la velocidad de cuenta de conjunto, pero si se atascaba el canal implicaría que el recorrido no es capaz de garantizar la alineación de las cápsulas.

Para este nuevo ensayo se utilizaron 50 cápsulas y arrojó como resultado que la causante de error era la imposibilidad de garantizar la alineación de las cápsulas, ya que la cuenta se repitió 10 veces, produciéndose 8 veces un atascamiento en el canal y en las dos restantes se obtuvo un valor preciso.

Por otra parte luego de estas pruebas se comenzaron a observar cápsulas abolladas o rotas, por lo que se continuó haciendo pasar cápsulas por el sistema hasta observar que la rotura se daba en la zona de salida de las cápsulas del caño hacia las paletas del ventilador, y la causa era que este obligaba a rotar a las cápsulas que se encontraban entre las paletas, pero las cápsulas que estaban aún en el caño se encontraban quietas, el choque entre ellas terminaba por romper las cápsulas.

## Conclusión

Aunque la simplicidad del sistema, la facilidad de construcción y la gran velocidad de cuenta ( $350 \pm 30$  cápsulas por minuto) son grandes ventajas que posee este método, se consideró inviable, ya que se observó un error de entre un 2 y un 7.5%, siempre contando menos cápsulas que las que realmente pasan por el sensor, por lo que suponiendo frascos de 100 cápsulas la totalidad de los mismos poseerían por lo menos 2 cápsulas de más, lo que es inadmisibles para un proceso de producción.

Por otra parte la agresividad del método de regulación de caudal hacia las cápsulas no permite garantizar que no se rompan las mismas en la cuenta. Considerando que terminada la cuenta las cápsulas no tienen otro control de integridad, lo cual es lógico ya que se encuentran envasadas, otro elemento que hace inviable el sistema es la posibilidad que lleguen frascos con cápsulas rotas al cliente.

Como resultado positivo de las experiencias se obtuvo que la tolva que almacene las cápsulas puede poseer una altura de 1m sin peligro de aplastamiento entre cápsulas por el propio peso.

## **ANEXO II**

### **Planos mecánicos**

Por acceso a los planos de la máquina  
tanto como la programación del PLC  
comuníquese con el Ingeniero Alex Vogel

Mail: [ing.alex.vogel@gmail.com](mailto:ing.alex.vogel@gmail.com)

## **ANEXO III**

### **Planos eléctricos y neumático**

Por acceso a los planos de la máquina  
tanto como la programación del PLC  
comuníquese con el Ingeniero Alex Vogel

Mail: [ing.alex.vogel@gmail.com](mailto:ing.alex.vogel@gmail.com)



## **ANEXO IV**

### **Hojas de datos**



Por acceso a los planos de la máquina  
tanto como la programación del PLC  
comuníquese con el Ingeniero Alex Vogel

Mail: [ing.alex.vogel@gmail.com](mailto:ing.alex.vogel@gmail.com)