



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

---

“Mejora de un sistema de inspección por Rayos X  
aplicado a la industria de bebidas”

Modalidad de Titulación  
VI Trabajo Profesional

Presenta  
César Iván Olvera Badillo  
9529053-5

Asesor  
M.I. Luis Arturo Haro Ruiz

Carrera  
Ingeniería Eléctrica y Electrónica

2 de Enero del 2011



## Índice

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1.- Objetivo.....	2
2.- Introducción.....	3
3.- Antecedentes de la empresa.....	4
4.- Estructura organizacional y descripción del puesto.....	5
5.- Fundamentos de la generación y adquisición de Rayos X..	7
1. Historia de los Rayos X.	
2. Generación de Rayos X.	
3. Adquisición de la Imagen de Rayos X.	
6.- Descripción del sistema de inspección por Rayos X.....	15
7.- Mejora del sistema de inspección.....	17
1. Aplicación del método de los 8 pasos para la mejora de procesos prácticos.	
8.- Conclusiones.....	47
9.- Bibliografía.....	48



### 1.- Objetivo:

Descripción de un sistema de inspección en línea a través de Rayos-X así como la mejora a través de un controlador lógico programable (PLC) de la inspección por imagen.



## 2.- Introducción:

Actualmente las empresas están mejorando los procesos de control de calidad, de producción y mantenimiento para hacerlos más eficientes y al mismo tiempo conseguir la plena satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente. Generalmente, los procesos de control de calidad se realizan en los laboratorios de las industrias tomando muestras de la línea de producción, haciendo los análisis correspondientes y si hay alguna irregularidad, comunicarla a el personal de mantenimiento para hacer las correcciones debidas y en el peor de los casos, detener la línea de producción hasta resolver el problema perdiendo un valioso tiempo con la consecuencia de la reducción de la eficiencia de producción, además de aumentar los costos de producción por la energía eléctrica desperdiciada, el tiempo del personal sin actividad y de que es probable que el lote que presentó el problema deba ser desechado. Contar con equipos inspectores en línea hace que el proceso sea más eficiente y seguro ya que todo producto es inspeccionado individualmente.



### 3.- Antecedentes de la empresa

Thermo Fisher Scientific es una empresa estadounidense líder mundial en lo que se puede traducir como prestadores de servicio a la ciencia, la cual cuenta con 30,000 empleados con el compromiso de ayudar a hacer un mundo más sano, más limpio y más seguro. A través de instrumentos analíticos, reactivos y consumibles, software y servicios para investigación, análisis y diagnóstico. Cuenta alrededor del mundo con 350,000 clientes en el campo farmacéutico, biotecnológico, hospitales, clínicas de diagnóstico, laboratorios, universidades, institutos de investigación, agencias gubernamentales así como en control de calidad y de proceso en las industrias.

Thermo Fisher Scientific provee una amplia variedad de instrumentos analíticos, consumibles y equipo de laboratorio. El creciente portafolio de productos y servicios incluye tecnologías innovadoras para la espectrometría de masa, análisis elemental, espectroscopia molecular, preparación de muestras, químicos, software, cultivos celulares, análisis por interferencia del RNA, pruebas de inmunodiagnóstico, así como el monitorización en calidad de aire, agua y procesos de control.



#### 4.- Estructura organizacional y descripción del puesto.

La empresa tiene varias divisiones de manufactura de productos y servicios alrededor del mundo, El cuadro organizacional que a continuación aparece es el que corresponde la división de Inspección de Productos (PI por sus siglas en inglés):

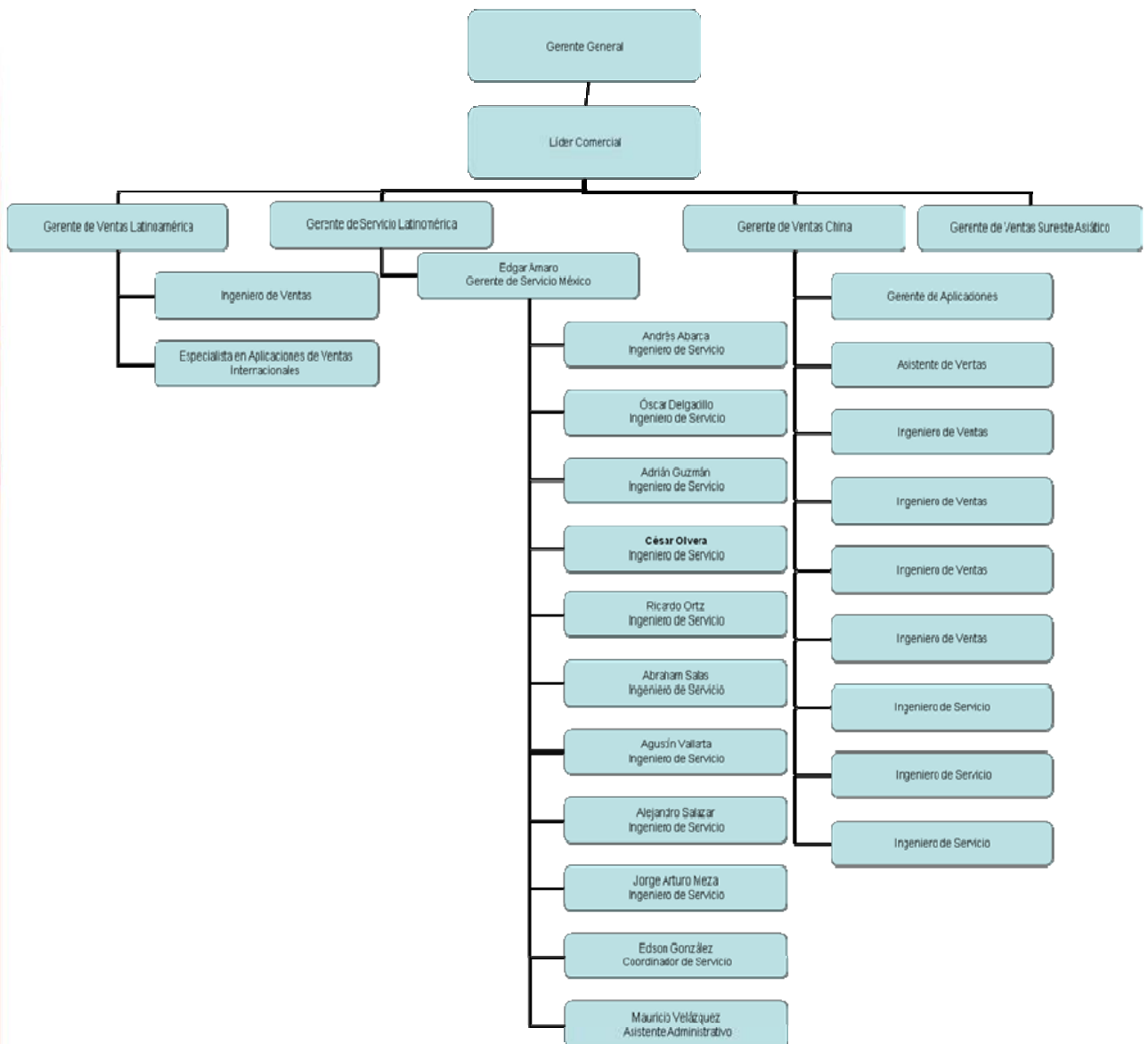


Figura 1 Cuadro Organizacional



Mi nombre es César Iván Olvera Badillo, en el cuadro organizacional me encuentro en el territorio latinoamericano mi jefe inmediato es Edgar Amaro Grégory el cual también funge como aval de este trabajo de titulación, el nombre de mi puesto es el de Ingeniero de Servicio Internacional. Debido a las funciones que desempeño, constantemente estoy fuera de la ciudad de México, la zona de operación comprende todo el territorio nacional, Centro América, El Caribe y en ocasiones Estados Unidos de América, Sudamérica y Europa. La descripción detallada de mis funciones se describe en el siguiente apartado.

### **Descripción del Puesto.**

El puesto que desempeño es de Consultor de Servicio y parte de mis principales actividades son: Instalación, puesta en marcha, mantenimientos preventivos, mantenimientos correctivos, mejoras, proveer entrenamiento, elaboración de manuales, tener capacidad para proveer soporte de ventas tanto de equipos como de refacciones y accesorios, elaborar reportes de servicio, elaborar reportes técnicos alternos, etc. de los equipos y sistemas diseñados por Thermo Fisher Scientific y/o sus subsidiarias a nivel mundial.

El servicio que proveo, en la gran mayoría de las veces, lo hago en el lugar del Cliente

### **Principales funciones.**

- Desarrollo mi función bajo escasa supervisión
- Utilizo los recursos de la compañía en forma eficiente y eficaz
- Soy la imagen de la compañía frente al Cliente



- El análisis de problemas y mi forma de conducir la solución son tareas diarias.
- Así mismo trabajo y resuelvo problemas bajo presión.
- Cumplo en tiempo y forma con todas las normas, procedimientos y políticas de la compañía.
- Me conduzco con ética.
- Represento a la Compañía en tratos y negociaciones con el Cliente.
- Transporte y Utilizo todas las herramientas necesarias para realizar correctamente mi trabajo.
- Mi lenguaje corporal debe ser optimista.
- Soy capaz de proveer entrenamiento de operación y mantenimiento de nuestros equipos.
- Me comunico de manera efectiva con el Cliente.
- Soy responsable de los tiempos que asigno para cada Cliente.

## 5.- Fundamentos de la generación y adquisición de Rayos X.

### 1. Historia de los Rayos X.

La historia de los rayos X comienza con los experimentos del científico William Crookes, en el siglo XIX, quien investigó los efectos de ciertos gases, en conjunto con descargas de energía. Estos experimentos se desarrollaban en un tubo al vacío y electrodos para que se generaran corrientes de alto voltaje. Él lo llamó tubo de Crookes. Este tubo al estar cerca de placas fotográficas, generaba en las mismas algunas imágenes ciertamente borrosas. Pero este físico inglés, no continuó investigando mayormente este efecto.

Es así, como Nicola Tesla en 1887, comenzó a estudiar este efecto creado por medio de los tubos de Crookes. Claro que tras su investigación, se dio cuenta de los peligros para los organismos biológicos de estas radiaciones y alertó a la comunidad científica.

Pero no fue sino hasta el 8 de noviembre de 1895 que se descubren los rayos X; el físico Wilhelm Conrad Röntgen, realiza experimentos con los tubos de Hittorff-Crookes (o simplemente tubo de Crookes) y la bobina de Ruhmkorff, analizaba los rayos catódicos, para evitar la





fluorescencia violeta, que producían los rayos catódicos en las paredes de un vidrio del tubo, crea un ambiente de oscuridad, cubre el tubo con una funda de cartón negro, en esa ocasión era tarde y al conectar su equipo por última vez se sorprendió al ver un débil resplandor amarillo-verdoso a lo lejos: sobre un banco próximo había un pequeño cartón con una solución de cristales de platino-cianuro de bario, observó que al apagar el tubo se obscurecía y al prenderlo se producía luminosidad nuevamente, retiró más lejos el cartón y comprobó que la fluorescencia se seguía produciendo, repitió el experimento y sucedió lo mismo, los rayos creaban una radiación muy penetrante, pero invisible. Observó que los rayos atravesaban grandes capas de papel e incluso metales menos densos que el plomo.

En las siete semanas siguientes, estudió con gran rigor las características propiedades de estos nuevos y desconocidos rayos. Pensó en fotografiar este fenómeno y entonces fue cuando hizo un nuevo descubrimiento: las placas fotográficas que tenía en su caja estaban veladas. Intuyó la acción de estos rayos sobre la emulsión fotográfica y se dedicó a comprobarlo. Colocó una caja de madera con unas pesas sobre una placa fotográfica y el resultado fue sorprendente al impresionarse la imagen de las pesas. Hizo varios experimentos con su brújula de bolsillo, el cañón de la escopeta. Para comprobar la distancia y el alcance de los rayos, pasó al cuarto de al lado, cerró la puerta y colocó una placa fotográfica. Obtuvo la imagen de la moldura, el gozne de la puerta e incluso los trazos de la brocha. Cien años después ninguna de sus investigaciones ha sido considerada como equivocada. El 22 de diciembre, un día memorable, al no poder manejar al mismo tiempo su carrete, la placa fotográfica de cristal y colocar su mano sobre ella, le pide a su esposa que coloque la mano sobre la placa durante quince minutos. Al revelar la placa de cristal apareció la mano de Berta, la primera imagen radiográfica del cuerpo humano. Así nace una de las ramas más poderosas y excitantes de la Medicina: la Radiología.

El descubridor de estos tipos de rayos le colocó el nombre de "X" porque no sabía que eran, ni cómo eran provocados, y porque esto significa "desconocido", dándole mayor sentido que cualquier otro nombre, por lo que muchos años después se decidió que conservara ese nombre.

La noticia del descubrimiento de los rayos "X" se divulgó con increíble rapidez en el mundo. Roentgen fue objeto de múltiples reconocimientos, el emperador Guillermo II de Alemania le concedió la Orden de la Corona, fue honrado con la medalla Rumford de la Real



Sociedad de Londres en 1896, con la medalla Barnard de la Universidad de Columbia y con el premio Nobel de Física en 1901. El descubrimiento de los rayos "X", fue el producto de la investigación, experimentación y no por accidente como algunos autores afirman; W.C. Roentgen, hombre de ciencia, agudo observador, investiga los detalles más mínimos, por eso tuvo éxito donde los demás fracasaron. Este genio no quiso patentar su descubrimiento cuando Thomas Alva Edison se lo propuso, manifestando que lo legaba para beneficio de la humanidad.

## 2. Generación de Rayos X.

La física de los rayos-X es muy compleja, lo cual requiere conocimientos de la teoría cuántica. Los rayos-X son de hecho fotones o partículas de energía, moviéndose a la velocidad de la luz con longitudes de onda del mismo tamaño que los espacios de los átomos que componen a la materia. El propósito de este trabajo es explicar la teoría básica de los rayos X e introducir a los interesados en los conceptos más importantes en el campo de la inspección en línea. En las aplicaciones de inspección utilizamos a los rayos X para medir la densidad de la masa de una muestra, midiendo que tanto estos fueron atenuados al atravesarla.

### Definición de Rayos X.

Como ya se mencionó Wilhelm Conrad Röntgen descubrió los rayos X al final del siglo XIX en Alemania. Los rayos X son radiaciones electromagnéticas producidas por la desaceleración de partículas cargadas (normalmente electrones) o por la transición de electrones en los átomos de un nivel orbital a otro. El primer método (desaceleración de electrones) es el que es utilizado en las aplicaciones de este trabajo.

Las longitudes de onda de los rayos X son del rango de  $10^{-8}$  [m] a  $10^{-10}$  [m] correspondiendo a las frecuencias de  $10^{16}$  a  $10^{21}$  [Hz].

La energía de las ondas electromagnéticas (como los rayos gamma, ultravioletas, luz visible, infrarrojos, ondas de radio, etc) están relacionados con la frecuencia según la siguiente fórmula:

$$E = hv$$

Ecuación 1 energía de onda electromagnética

Donde **E** es la energía asociada a la onda, **h** la constante de Planck, y **v** es la frecuencia de la onda. Esta fórmula simple muestra



que la energía electromagnética de la onda incrementa proporcionalmente con la frecuencia.

Longitud de onda y frecuencia electromagnética de las ondas están relacionadas entre sí por.

$$c = \lambda \nu$$

Ecuación 2 velocidad de la luz en función de la frecuencia y la longitud de la onda

Donde **c** es la velocidad de la luz en el vacío (que es igual al  $3 \times 10^8$  m/s),  $\lambda$  es la longitud de la onda en metros y  $\nu$  es la frecuencia en Hz. Esta fórmula muestra que una onda electromagnética con una cierta energía **E** solo puede tener una longitud de onda  $\lambda$  igual a:

$$\lambda = c / \nu = hc / E$$

Ecuación 3 relación de la longitud de onda con la energía de la onda

Donde h y c son constantes. En particular, cuando la longitud de onda de los rayos-X se decrementa, la energía se incrementa. Esto explica porque los rayos-X de mayor energía penetran mejor en la materia. La materia está hecha de átomos compuestos de electrones y núcleos, y espacio entre átomos. La materia densa tiene menos espacios entre átomos. Para penetrar materia sin ser absorbida, los rayos-X tienen que encontrar el camino por el espacio vacío sin interactuar con las partículas subatómicas. En términos simples, una onda con menor longitud de onda tiene más probabilidades de pasar por los espacios subatómicos sin interactuar con estos.

### Generación de Rayos X

Como ya se mencionó los rayos-X pueden ser generados por la desaceleración de una partícula cargada o por la transición de electrones en los átomos. Ambos métodos están implicados en nuestras aplicaciones, pero en diferentes maneras. El primero (desaceleración) es usado para generar rayos-X primarios en el interior del tubo de vacío. El segundo método es responsable por la generación de rayos-X dispersos aquellos de mejor energía que representan la mayoría de la emisiones de las aperturas en las máquinas inspectoras. El método para generar rayos-X usado en casi todas las aplicaciones es el llamado Bremstrahlung, y consiste en acelerar electrones con un campo eléctrico y desacelerándolos haciéndolos impactar en una placa de metal la figura muestra el clásico tubo generador de Rayos-X.

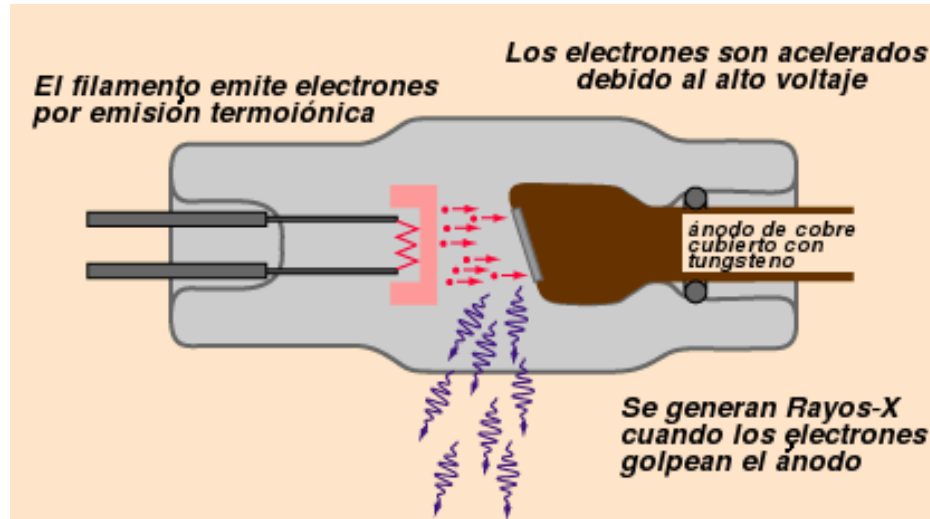


Figura 2 Descripción gráfica de la generación de Rayos-X

La corriente fluye a través del filamento situado del lado del cátodo en el tubo de vacío. Por calentamiento del filamento, como un foco convencional, se emiten electrones. Los electrones, cargados negativamente, son acelerados por la fuerza eléctrica creada entre el ánodo y el cátodo así que estos fluyen a gran velocidad por el tubo de vacío del cátodo al ánodo. Cuando los electrones impactan el ánodo, surge el efecto bremsstrahlung: los electrones son violentamente desacelerados y los rayos-X generados. El proceso de generación de rayos-X por este método se ha demostrado que es extremadamente ineficiente de hecho solo el 1% de la energía asociada a los electrones (eV) es convertida en rayos X lo demás se convierte en calor. Esta es una limitante física que no puede ser superada mejorando la construcción del tubo de vacío, para ser más preciso el coeficiente integrado de conversión  $\epsilon$  de un electrón con energía cinética convertida a energía en forma de rayo-X continuo es (Compton And Allison 1935)

$$\epsilon = 1.1 \times 10^{-9} ZV$$

Ecuación 4 relación de la conversión de la energía de un electrón a un rayo-x

Donde Z es el número atómico del material de la placa de choque de los electrones y V es el voltaje a través del cual los electrones son acelerados. Por consiguiente para eficiencias altas, se necesitan materiales, en la placa de choque, pesados y altos voltajes; para el tungsteno (Z=74) y V = 100 kV, el factor de



eficiencia de conversión es solo 0.8% (ver X-Ray Science and Technology, edited by A G Michette and C J Buckley, King's College London 1993, section 1.6.1).

Para maximizar las emisiones de rayos-X, el ánodo es normalmente hecho con cobre con una capa de tungsteno u otro metal muy fuerte. Entre más fuerte es el material mayor será la desaceleración, mientras el cobre es requerido para disipar el calor. Los generadores de rayos-X de gran potencia necesitan disipar una gran cantidad de energía. Esto no es posible por simple disipación. Cuando es necesario, generadores de potencia media a alta es indispensable además de el uso de agua o aceite.

### **Energía de Rayos X, kV**

El alto voltaje entre el ánodo y el cátodo es responsable de la energía asociada con los rayos-X generado por el tubo. A mayor voltaje, mayor es la energía de cada rayo-X. Grandes niveles de energía significa mayor frecuencia o menor longitud de onda. La energía de rayos-X producida por los tubos emisores como se describió, es igual al voltaje de aceleración del campo eléctrico, en otras palabras, decimos que los rayos-X tienen una energía de 20 [kV], 40 [kV] etc.

Esta simplificación puede ser aceptada como una descripción cualitativa. En realidad los rayos-X emitidos por un tubo a ciertos kV contienen un espectro de frecuencias o energías. Los Rayos-X generados con este método no son monocromáticos. La eficiencia del sistema, en términos de lo que puede o no puede detectar en diferentes situaciones también depende de los espectros de la frecuencia.

La energía de los rayos-X es importante en la determinación de la capacidad para penetrar la materia. A mayores niveles de energía más capacidad de penetración en la materia. En general, las máquinas de detección tienen un rango de 40 a 80 [kV] donde 50 [kV] es un voltaje común. La cantidad de energía requerida para una aplicación depende de 2 parámetros, la densidad y el tamaño del objeto. Para inspeccionar correctamente un objeto es necesario que algunos rayos-X sean absorbidos y otros no, para que pueda obtenerse una correcta imagen. Si no hay suficiente cantidad de energía la imagen será oscura (Los rayos X fueron completamente absorbidos por el objeto), si se aplica mucha, la imagen será muy clara (no absorción).

En la práctica, cuando se inspeccionan alimentos (con un gran porcentaje de agua) el mínimo es de 50 kV. Para paquetes con mayor





densidad o espesores mayores de 50mm, será necesario 65 [kV] como mínimo.

### **Potencia de Rayos X**

La potencia [W] de un sistema de rayos-X como se describe aquí, es normalmente definida como el producto del voltaje eléctrico entre el cátodo y el ánodo (kV) y la corriente en el filamento (mA). Así que un sistema está trabajando a 3.5 mA y 60 kV tendrá una potencia de 210 [W].

El voltaje de dicho sistema es raramente debajo de 50 kV y también raramente excede los 100 kV. La corriente puede cambiar dependiendo de la geometría, así que típicamente los rangos de potencia son de 5W a 400W.

Debido a que el 99% de la potencia se convierte en calor que necesita ser disipado. La disipación es hecha por aire para sistemas de baja potencia, pero requiere de aceite cuando se incrementa la potencia. El restante 1% de la potencia es asociada a los rayos-X. Estos son esparcidos por toda el área, mientras que los rayos-X utilizables en la detección son solo los que fluyen en dirección del detector a través del colimador. Esto significa que de ese 1% solo una fracción es la que se está utilizando.

### **Detección de Rayos X**

Existen 2 métodos principales en la industria de la detección en línea que son:

- Intensificación de imagen.
- Arreglo de diodos.

Me enfocaré en el arreglo de diodos por ser el objetivo de este trabajo.

### **Arreglo de diodos**

Este es el método más utilizado para la inspección en línea. Algunos cristales tienen la propiedad de convertir los rayos-X en luz donde la cantidad de luz producida es proporcional (ver X-Ray Fluorescence Spectrometry Second Edition, Ron Jenkins, edited by John Wiley & Sons, Inc, section 6.3.2) a la energía que reciben de los rayos-X. En un fotodiodo una pequeña cantidad de estos cristales



está al frente. Esta parte es llamada en inglés "Scintillator" (substancia que absorbe energía ionizante, electromagnética o cargada por radiación de partículas cuya respuesta es una fluorescencia dependiendo de la energía recibida). La luz creada por esta produce en el fotodiodo una corriente proporcional a la intensidad de la luz emitida por consiguiente una energía proporcional a la intensidad de los rayos-X. Esta corriente que es muy pequeña (unos cuantos pico A), es integrada para producir un nivel de voltaje proporcional a la intensidad de los rayos-X. Los fotodiodos están dispuestos en una configuración lineal la cual es transversal al movimiento del paso de producto en el interior del túnel de inspección. Muestras de voltaje son tomados y convertidos a señales digitales, y guardados en la CPU conforme pasa el producto se repite el proceso hasta hacer una imagen de rayos-X del producto mostrando las variaciones de la densidad de la masa.

Algo que es muy importante en la aplicación, es el tamaño de los diodos, diodos más pequeños dan mejor resolución de imagen.

### **El colimador.**

El Tubo genera rayos-X en todas direcciones, estos son peligrosos para el cuerpo humano, y es un requerimiento importante que estén contenidos dentro de la máquina. Los inspectores de rayos-X están cubiertos con plomo para evitar fugas de radiación del interior del gabinete. El tubo está situado en un contenedor aislado con plomo el cual únicamente tiene una abertura para que salgan estos, el colimador está situado en la línea de apertura para bloquear radiación que no está en dirección del detector, el colimador normalmente es una placa ranurada y está hecho de acero con plomo y tiene una apertura del tamaño del detector y del ancho de los diodos detectores.

Debido a regulaciones de seguridad el colimador es un dispositivo crítico dependiendo de la potencia del sistema, para mantener emisiones bajas es necesario hacer un colimador muy delgado, como consecuencia la alineación entre el colimador y los



diodos es crítica, vibraciones y variaciones de temperatura pueden correr el alineamiento del colimador.

## 6.- Descripción del sistema de inspección por Rayos X.

El equipo sobre el cual se realizó la mejora es un inspector de nivel Inscan<sup>®</sup> marca propietaria de la empresa Thermo Fisher Scientific, este es descrito como un sistema de inspección de llenado de alta velocidad a continuación se da una breve introducción al equipo.



Figura 3 Inscan<sup>®</sup> Inspector de nivel por Rayos-X



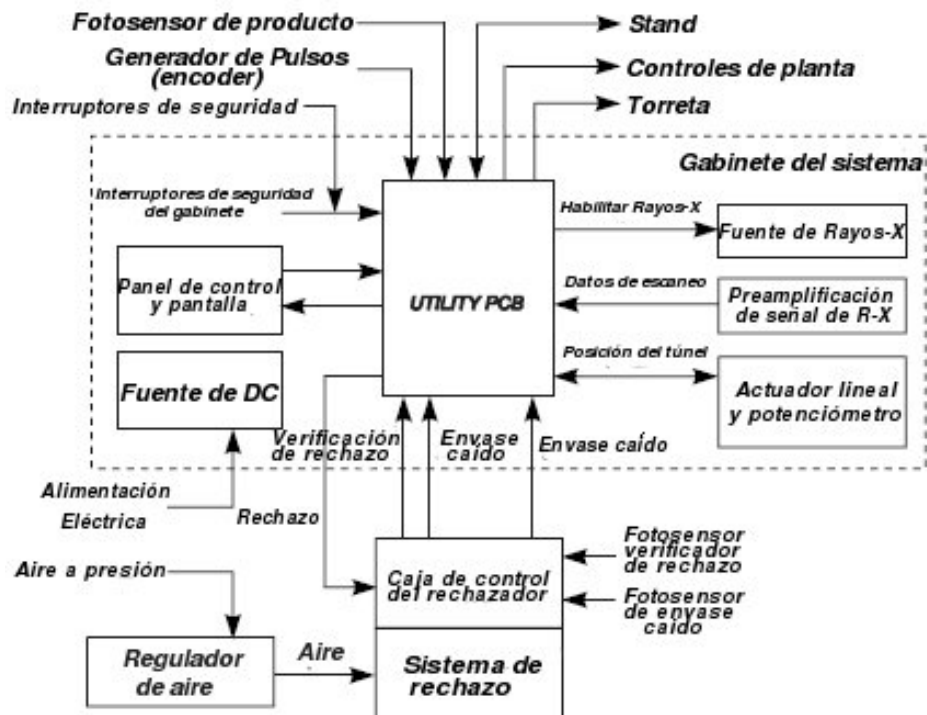


Estos equipos están instalados en embotelladoras, empresas alimenticias y farmacéuticas. En el caso de empresas embotelladoras, verifican el nivel de llenado en envases de plástico, vidrio, aluminio y acero. En las farmacéuticas se verifica el nivel de llenado de jarabes al mismo tiempo la presencia de los dosificadores y los goteros. En las empresas alimenticias el correcto llenado de los envases y la presencia de elementos contaminantes.

Las ventajas que tiene este equipo son:

- Diseño compacto.
- Precisión en el llenado.
- Velocidad máxima de 2400 envases en cada minuto.
- Cambio automático a diferentes tipos de envases (presentaciones).
- Módulos de comunicación con terminales remotas Y llenadoras.

El diagrama a bloques del sistema completo se muestra a continuación:





## 7.- Mejora del sistema de inspección.

El objetivo de este trabajo es como dice el título mejorar un sistema de inspección de rayos X el cual tiene un área de oportunidad respecto de los equipos de la competencia. Para realizarlo se aplicará una metodología de mejora de procesos continuando con la implementación y los resultados obtenidos.

### Método de los 8 pasos para la mejora de procesos prácticos.



Figura 5 Método de los 8 pasos.

## Paso 1

En el mercado de bebidas existen muchos tipos de taparroschas para diferentes aplicaciones y presentaciones, el equipo Inscan tiene en este segmento un área de oportunidad aunque tiene la opción de detección de taparrosca mal tapada y la detección de ausencia de taparrosca por medio de fibras ópticas el mercado de bebidas para deportistas las cuales son procesadas sin la adición de conservadores necesita no solo de la inspección de nivel sino también la de taparrosca debido a que en el producto mal tapado se forman hongos dando una muy mala presentación y al mismo tiempo pone en riesgo la prestigiosa marca que ostenta. A continuación se muestran las imágenes algunos tipos de taparrosca los cuales fueron caso de estudio para la implementación por imagen.



Figura 6 Diferentes tipos de taparroschas

El Objetivo es que el dispositivo a implementar tenga la flexibilidad de inspeccionar cualquier tipo de taparrosca.

## Paso 2

Actualmente el proceso de inspección es solo respecto al nivel de llenado, con lo que el cliente tiene que utilizar personal para verificar en línea que todas las taparroschas estén bien posicionadas además de que no es un proceso 100% confiable ya que el servicio de atención a clientes constantemente está reportando botellas mal tapadas que son rechazadas por el consumidor.



Diagrama de flujo del problema.

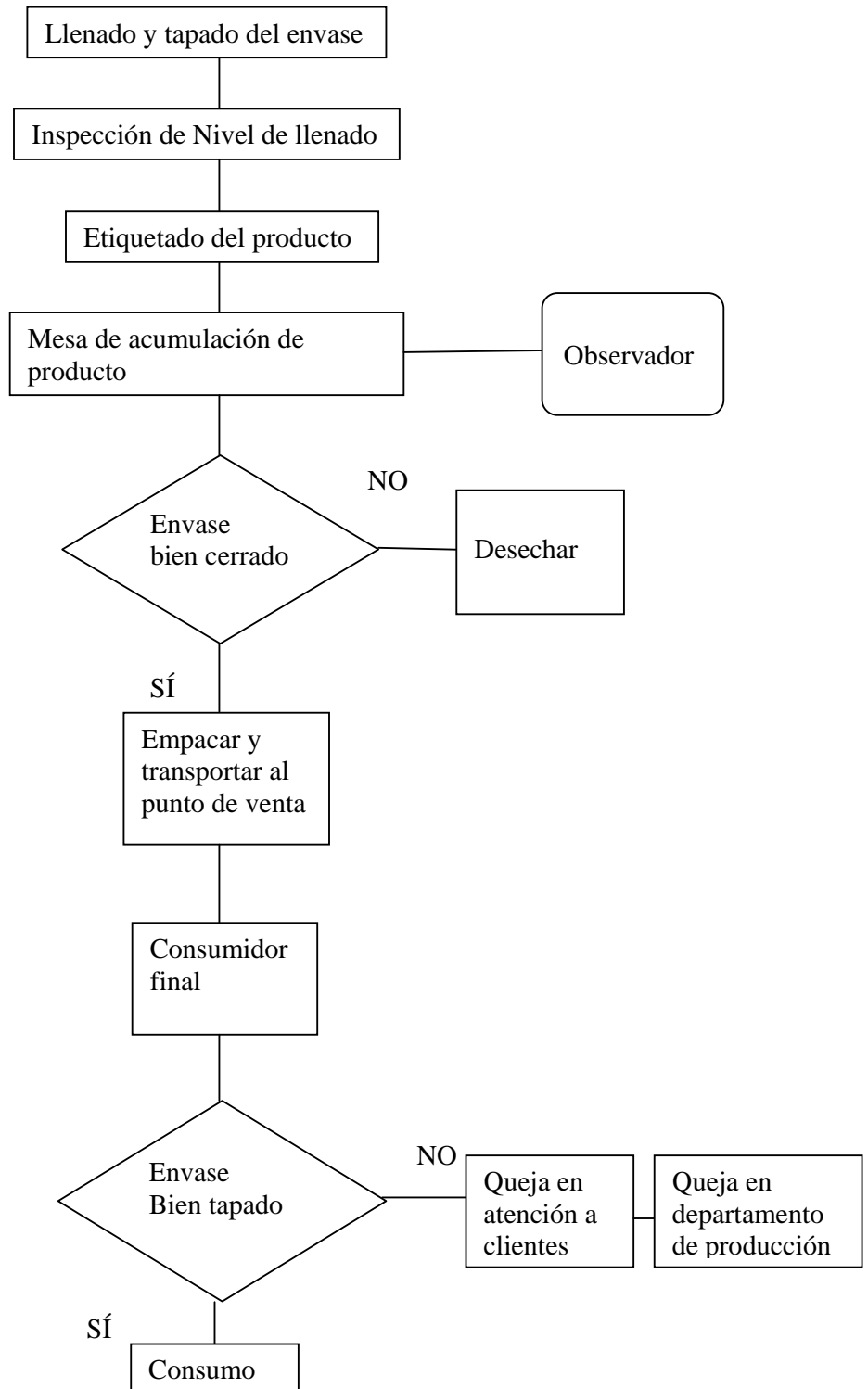


Figura 7 Diagrama de Flujo del problema

### Paso 3

Como se observa en la Figura 7 hay varios puntos los cuales requieren de especial atención, el primero es que debido a que se depende de una máquina para cerrar las taparrosclas el proceso no es 100% confiable ya que en cualquier momento puede fallar, el siguiente punto es depender de un observador humano para detectar botellas mal tapadas ya que se encuentra en una mesa de acumulación viendo botellas en largos periodos de tiempo la cual tiene de 2000 a 10000 botellas con lo que es imposible decir que ninguna botella mal tapada llegará al consumidor final. El último y más delicado de los puntos es que el propio consumidor sea el que tenga que regresar el envase mal cerrado.

### Paso 4

En la identificación de causas solamente es una, la maquina que cierra las taparrosclas por ser un dispositivo mecánico de alta velocidad no asegura que el 100% del producto sea tapado.

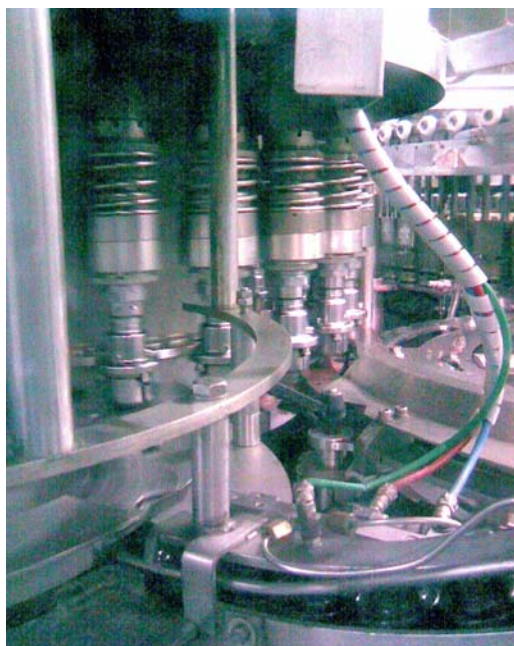


Figura 8 Máquina cerradora





## Paso 5

La solución consta de un dispositivo de visión capaz de inspeccionar cada botella individualmente con las siguientes características:

- Tamaño compacto.
- Inmunidad al color de la taparroasca.
- Inmunidad a la variación de altura de la botella (hasta 3 mm).
- Velocidades de inspección hasta de 1200 envases por minuto.
- La actualización de hardware debería poder adjuntarse al equipo.

El plan será enviar todas las muestras de botellas a las oficinas de Estados Unidos para que hagan las pruebas con algún representante de alguna compañía de sistemas de inspección por visión.

## Paso 6

Las soluciones se sometieron a prueba en Estados Unidos, los resultados indican que es posible inspeccionar con una exactitud en la medición en la altura de 0.5 mm.

## Paso 7

En este paso es donde se explicará detalladamente la mejora, incluirá el nuevo diagrama de flujo, una pequeña introducción al nuevo elemento de inspección que es la cámara, la necesidad de un elemento que sirva como interfase entre esta y el inspector de rayos X los diagramas de instalación y el programa del controlador lógico programable. Continuando con la secuencia del método de los 8 pasos el diagrama nos indica la siguiente etapa: El proceso nuevo será la adición de un sistema de visión con las características antes mencionadas, el nuevo diagrama de flujo se muestra a continuación; podemos observar que con la mejora en el equipo de inspección este se ha optimizado ya que ahora la inspección no depende del factor humano el cual está expuesto a fallas debido a la cantidad de botellas y el tiempo que las observa, además de que ahora ya no llegarán al consumidor final.



Nuevo diagrama de flujo.

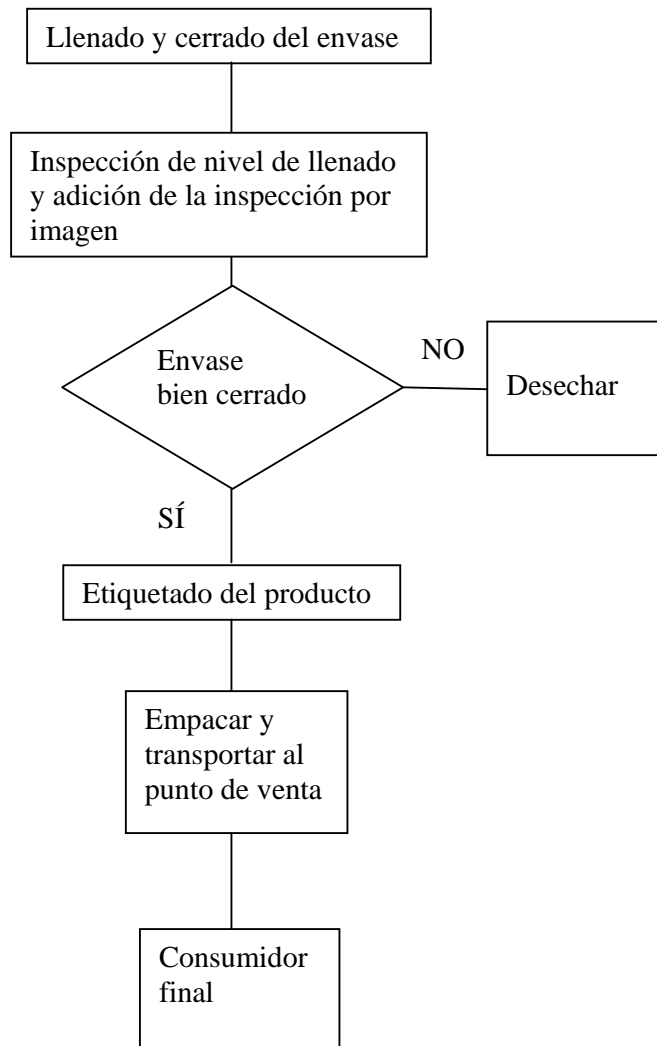


Figura 9 Diagrama con la solución al problema planteado

El dispositivo elegido por personal de Thermo Fisher Scientific de Estados Unidos es una cámara de alta velocidad marca Cognex® capaz de adquirir hasta 5000 imágenes por minuto. A continuación se muestra la imagen de la cámara así como algunas imágenes que funcionaron como caso de estudio de la inspección de taparroca.



Cámara Cognex® In-Sight 5000.



Figura 10 Cámara Cognex® In-Sight 5000.

Descripción del funcionamiento de la inspección por imagen.

El funcionamiento de la Cámara Cognex® mostrada en la figura 10 en la aplicación de la inspección de la correcta posición de la taparrosca consiste en fotografiar cada una de la botellas en la línea de producción. A través de parámetros internos del software esta inspecciona los siguientes aspectos en la botella:

- Distancia correcta entre el cuello de la botella y el borde de la tapa (una mayor distancia indica que la botella no está bien cerrada por la taparrosca).
- Existencia de taparrosca.
- Existencia del arillo de seguridad.

Si cualquiera de las botellas no cumple con uno solo de los criterios antes mencionados la cámara enviará una señal de rechazo, la razón de diseñar una interfaz entre la cámara y el Inscan® es que ésta, cuando detecta un producto defectuoso, lo rechaza inmediatamente no importando si el transportador de envase cambió de velocidad o si se detuvo, además de que como se mencionó en los requisitos, el rechazo debía manejarse por el equipo Inscan®.

A continuación se muestran unas imágenes de la inspección por imagen así como un diagrama gráfico del funcionamiento del sistema.



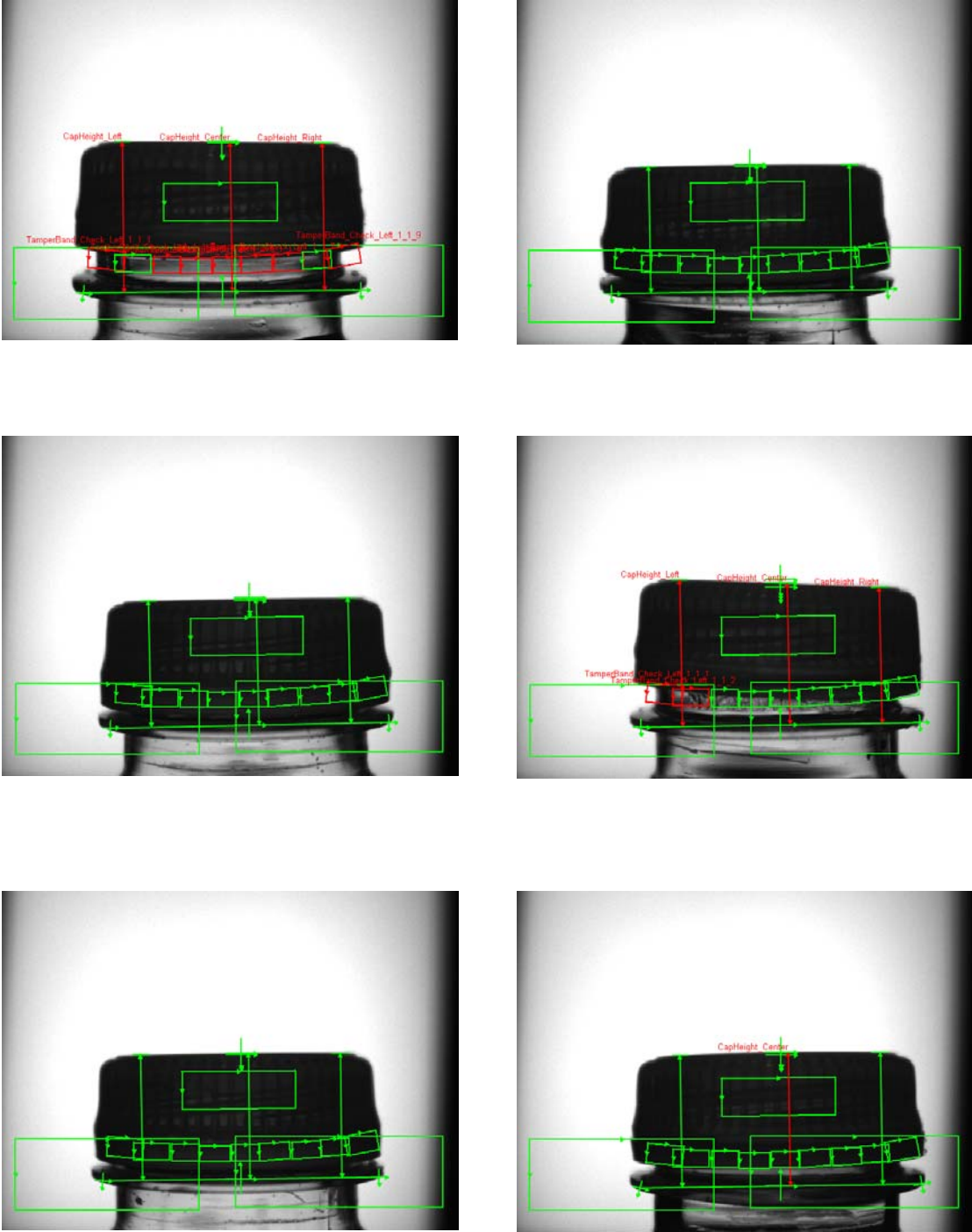


Figura 11 Ejemplos de imágenes capturadas por la cámara Cognex®

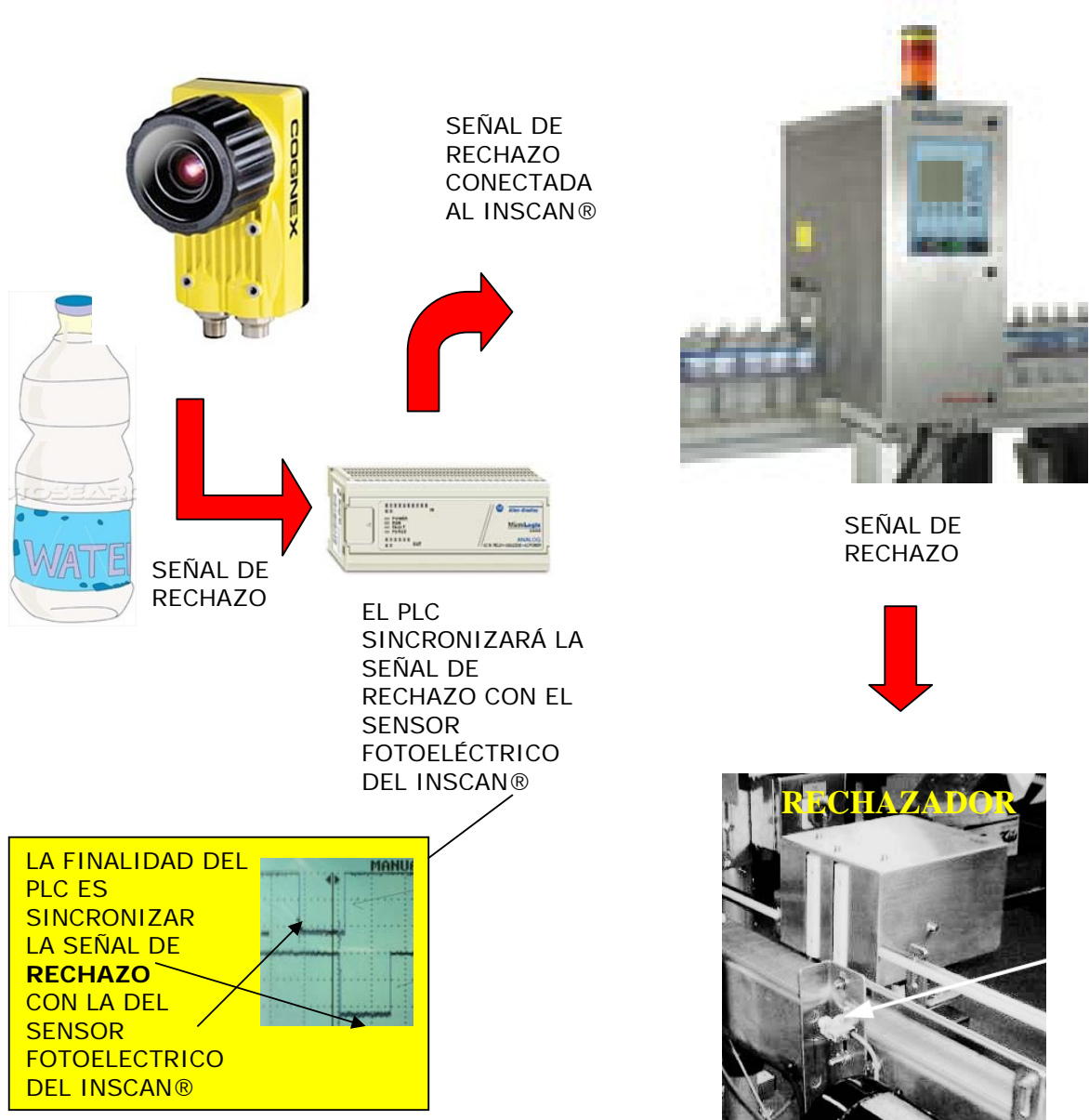


Figura 12 Diagrama gráfico del funcionamiento del sistema Cognex-Inscan®



### ¿Por qué Utilizar un PLC?

En primer lugar porque es un dispositivo programable, con instrucciones para aplicaciones industriales, así como compatibilidad con los voltajes de las señales del Inscan. Las principales características del dispositivo se enumeran a continuación.

- Voltajes de operación de entrada y salida de 24 [V].
- Entradas para señales pulso hasta de 6.6 [Khz] ideal para aplicaciones de alta velocidad, generadores de pulsos e interruptores fotoeléctricos.
- Diferente número de entradas y salidas acorde con la aplicación muy importante para reducir costos, existen de 10, 16 y 32.
- Resoluciones de 16 bits.
- Programación vía RSLogix 500 con opción en simulación en la computadora.
- Programación vía RS232 para portabilidad.
- Basado en memoria EEPROM, la cual almacena el programa y datos eliminando la necesidad de utilizar batería de respaldo en caso de desenergizar el controlador o por problemas en la alimentación.
- Tiempo de procesamiento de 1.5 [ms] por 500 instrucciones de programa.



## Historia del PLC

PLC es acrónimo de Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller). Originalmente los PLC's fueron sistemas diseñados por ingenieros de la General Motors Company para resolver problemas de lógica de control y sustituir a los antiguos sistemas basados en relevadores.

Los sistemas de relevadores son del tipo de sistema de "lógica cableada". Esto quiere decir que cuando un sistema de control basado en relevadores se diseñaba, este servía única y exclusivamente para resolver el problema para el cual fue pensado. Si por alguna razón el proceso debía cambiar, era necesario volver a hacer un análisis matemático para obtener la lógica de control y además se debía modificar el cableado de los relevadores. En el peor de los casos era necesario rehacer toda la instalación del sistema de relevadores.

Por el contrario, un PLC es un sistema de microprocesador. En cierta forma se puede decir que es una computadora de tipo industrial. Un PLC tiene una CPU (Unidad central de procesamiento), fuente de alimentación, interfaces para comunicación y puertos de entradas y salidas de tipo analógico o digital que se fabrican en tarjetas o módulos. Tanto el CPU y sus periféricos, que son los módulos de entradas y salidas, se interconectan mediante un bus del sistema que en algunos modelos de PLC's está hecho sobre una placa con ranuras (Slots) en donde se insertan uno por uno, del mismo modo en que se insertan las tarjetas de expansión en la placa base de una computadora personal.

## PLC Definición

*Un Controlador Lógico Programable es un sistema de control, dotado de una memoria programable por el usuario, que lee*



*condiciones de entrada y establece las condiciones de salida para controlar una máquina o proceso.*

Si se desarrolla esta definición, se dirá que el sistema de control sobre una máquina denominado PLC es el ordenador industrial o *autómata* que *controla* el ciclo de operación de dicha *máquina*. Este ordenador industrial, ya que está destinado y preparado para ese ambiente, es el encargado de decidir en todo momento lo que tiene que hacer la máquina, con base en unas condiciones, que serán las que se establezcan gracias a la lectura de sus entradas, estado de las salidas y otros parámetros especificados en el *programa* que previamente se habrá introducido en su memoria.

Así el PLC interacciona con la máquina a través de sus entradas y salidas, que serán las salidas y entradas para la máquina:

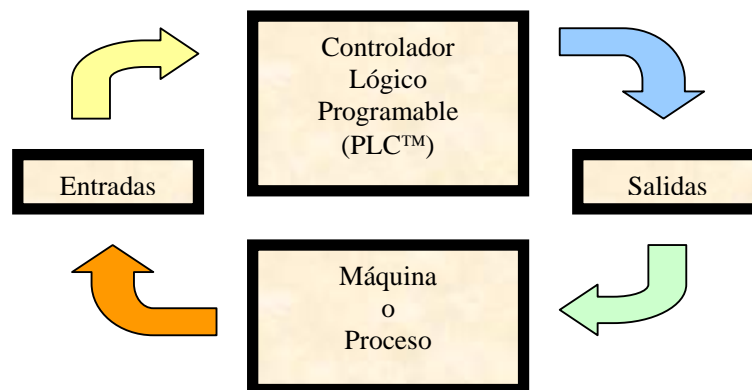


Figura 13 esquema básico de un sistema autómatas-proceso



El PLC que se escogió para implementar la mejora es un Allen Bradley Micrologix 1000 debido a la compatibilidad de voltajes con el equipo Inscan®, así como las entradas de contadores de alta velocidad especial para aplicaciones con generadores de pulsos (encoders).

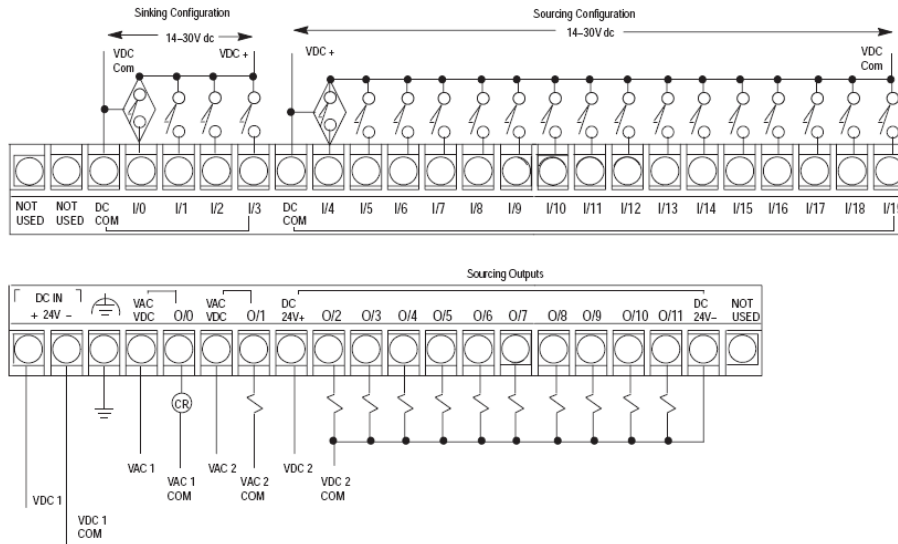


Figura 14 Entradas y salidas físicas del PLC

Rangos de voltaje de entrada.



Rangos de voltaje de salida.



Figura 15 Rangos de voltaje de entrada y salida





## Programación en escalera (Ladder)

### Introducción

Los conceptos básicos que se explicarán a continuación son fundamentales para comprender la programación 'en escalera' o Ladder. Es por ello que se deben asimilar bien antes de comenzar a ver el conjunto de instrucciones de que dispone el lenguaje Ladder.

### Concepto de Renglón

Un programa Ladder se compone de un listado de renglones. Cada renglón se pueden interpretar como una sentencia en que se desea verificar alguna condición y, si se cumple, ejecutar alguna acción.

Cada renglón se ejecuta de izquierda a derecha (1). Además, el programa se va ejecutando renglón a renglón secuencialmente, de arriba a abajo (2), pasando de uno a otro hasta llegar al último, que por fuerza debe ser el renglón que contiene la instrucción END, que indica que se ha acabado el programa.

A continuación se adjunta un pequeño programa Ladder en que se puede apreciar los distintos renglones, cada uno con sus instrucciones:

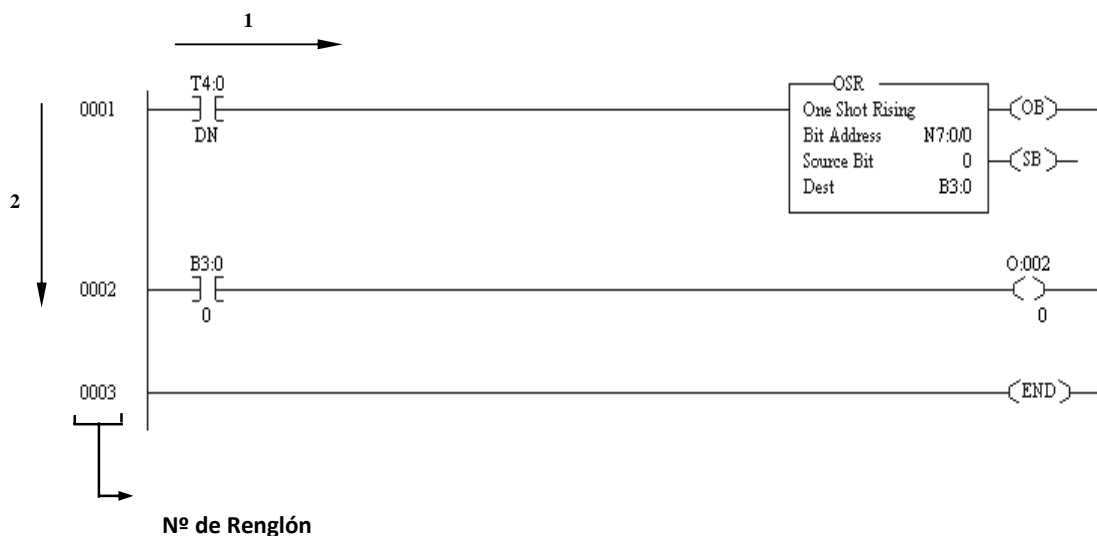


Figura 16 Ejemplo de varios renglones en un programa y su numeración



## Condiciones de entrada e instrucciones de salida

Después de haberse visto el concepto de renglón, se explicarán otros dos conceptos incluidos en él: las condiciones de entrada y las instrucciones de salida.

Tal y como se ha expuesto en el punto anterior, cuando se ejecuta un renglón de un programa, se comienza por verificar unas condiciones. Si se cumplen estas condiciones (el renglón es verdadero), entonces se actuará sobre unas variables. Las condiciones que se comprueban se llaman condiciones de entrada, y se expresan en la programación del renglón como instrucciones 'de entrada' que se encuentran en la parte izquierda del renglón. Al conjunto de todas estas instrucciones también se le llama condición de renglón.

Como ya se ha dicho, si se cumplen estas condiciones de entrada, entonces se ejecutarán las acciones expresadas por el programador con las instrucciones de salida. Con estas instrucciones es como verdaderamente actúa el programa, ya que se actúa sobre variables del programa y del sistema, habitualmente salidas, aunque también sobre variables de la memoria de datos.

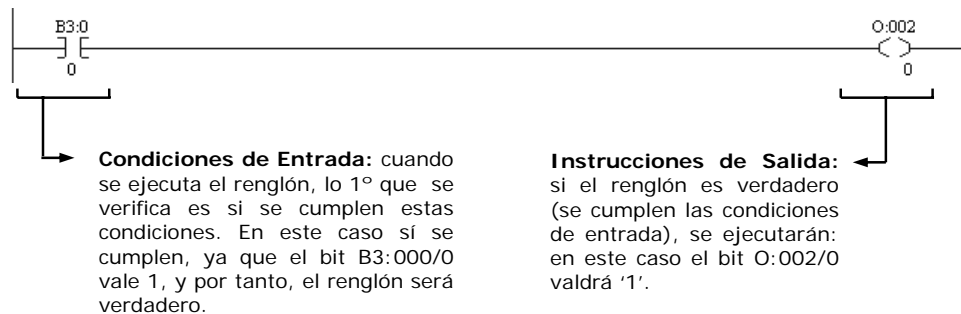


Figura 17 Condiciones de entrada e instrucciones de salida

En las condiciones de entrada se pueden encontrar más de una instrucción o condición a comprobar, teniéndose que cumplir todas para que el renglón sea verdadero.



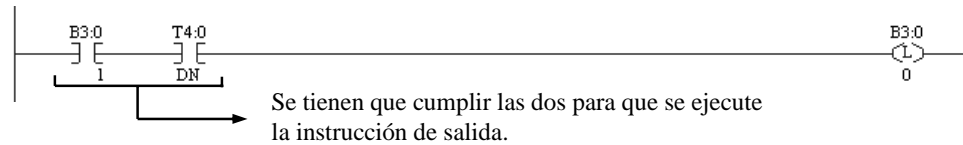


Figura 18 Condiciones de entrada en serie.

### Concepto de Bifurcación

Se ha 'dividido' el renglón en dos partes bien diferenciadas: la parte de las condiciones de entrada y la de las instrucciones de salida. Ahora se aumentará la complejidad con la introducción del concepto de bifurcación.

En los ejemplos que se han presentado hasta ahora, se interpretaba el renglón como un único trazo horizontal, pero en realidad no tiene por qué ser así. Cada una de las dos partes en que se ha dividido el renglón puede estar compuesta por más de una rama: puede haber ramificaciones en paralelo para que se comprueben o ejecuten también en paralelo.

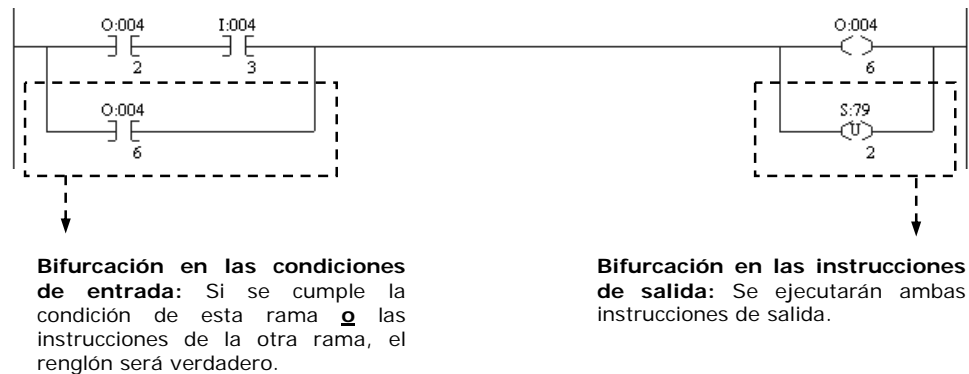


Figura 19 Bifurcaciones.

### Tiempo de Scan

Como concepto básico de programación, no sólo en lenguaje Ladder, sino en todos, queda por explicar un aspecto más relacionado con el hardware del sistema que con la programación en sí. Se entiende por tiempo de Scan el tiempo de ejecución del programa completo. Una vez se han ejecutado todos los renglones e instrucciones, el programa volvería a comenzar por el principio. El



tiempo de Scan no es más que el tiempo de duración de un ciclo de ese proceso. Es por esto que también se llama al ciclo, ciclo de Scan.

Es importante saber que en la ejecución de un programa, una vez se han comprobado las condiciones de entrada y se han ejecutado las instrucciones de salida de un renglón, el estado de esas salidas no cambiará hasta que se dejen de cumplir las condiciones de entrada en el Scan siguiente, si es el caso.

Además, durante el tiempo de Scan, el sistema, además de ejecutar el programa, también efectúa otras acciones. De forma general, los procesos que se llevan a cabo en un ciclo de Scan son los siguientes:

- a- Lectura del estado de las entradas del PLC™.
- b- Copia del estado de las entradas a la tabla de imágenes de entradas.
- c- Ejecución del programa, teniendo en cuenta los valores de la tabla de imágenes de entradas y modificación de la tabla de imágenes de salidas, de acuerdo con los resultados de la ejecución del programa.
- d- Actualización del estado de las salidas del PLC™.

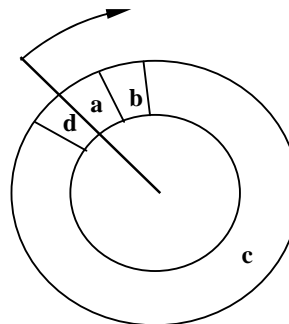


Figura 20 Ciclo de Scan.

### Concepto de Watchdog

Respecto al tiempo de ejecución del programa, se podría añadir que en la mayoría de autómatas existe, un registro temporizador, que se va reiniciando paulatinamente, que se encarga de controlar que la duración del programa no supere el máximo preseleccionado. Si el programa se prolonga por un tiempo excesivo y no se reinicializa este registro temporizador, cuando llegue al tiempo preseleccionado,



se detendrá el programa y el procesador entrará en fallo grave, o se comenzará a ejecutar una rutina de fallo prevista para estos casos, si es que se ha configurado.

#### Instrucciones de programación

El detalle de cada instrucción se encuentra en MicroLogix\_ 1000 Programmable Controllers: Allen Bradley, Boletín referido en la bibliografía.



Diagrama de estados

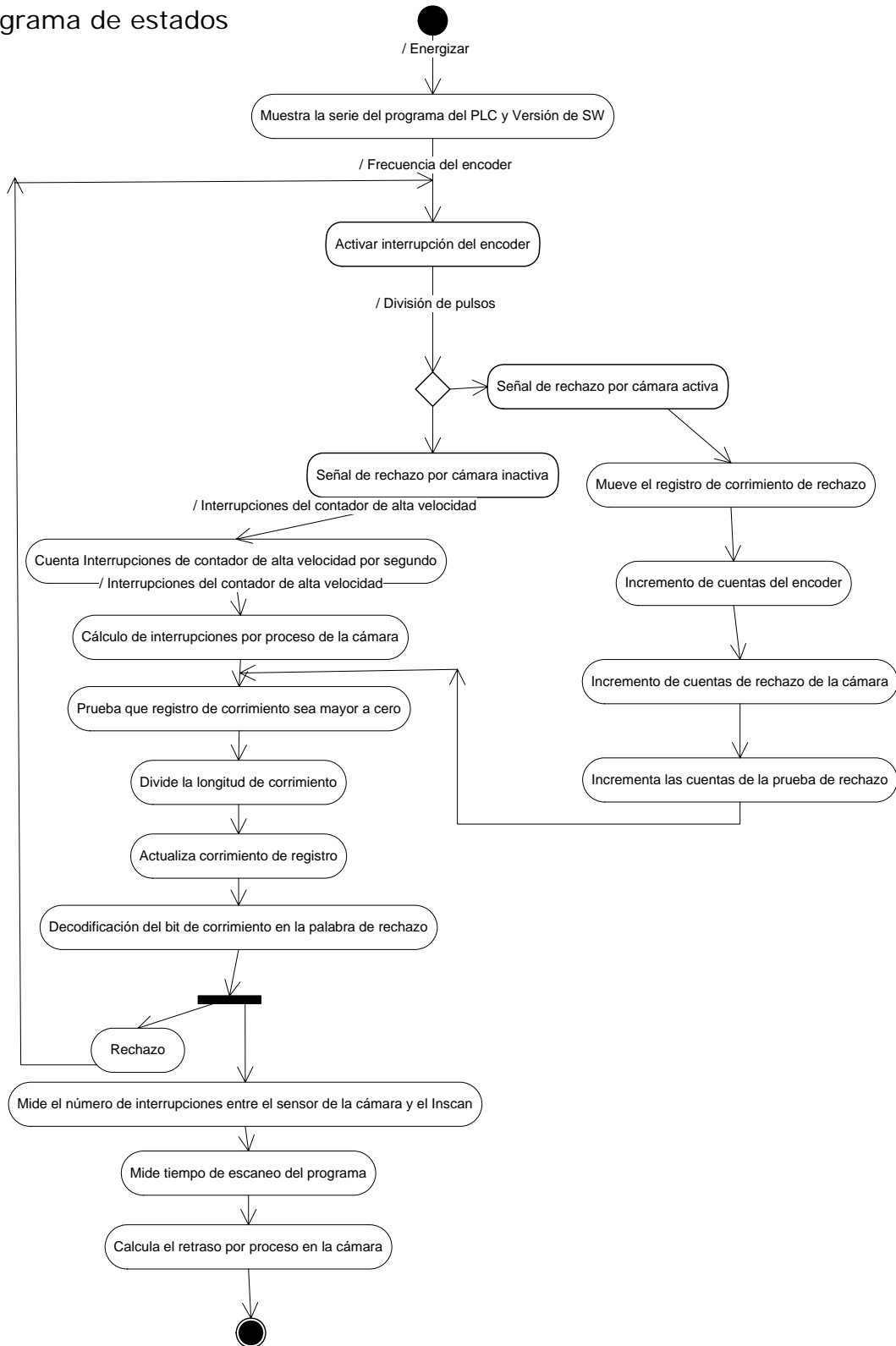
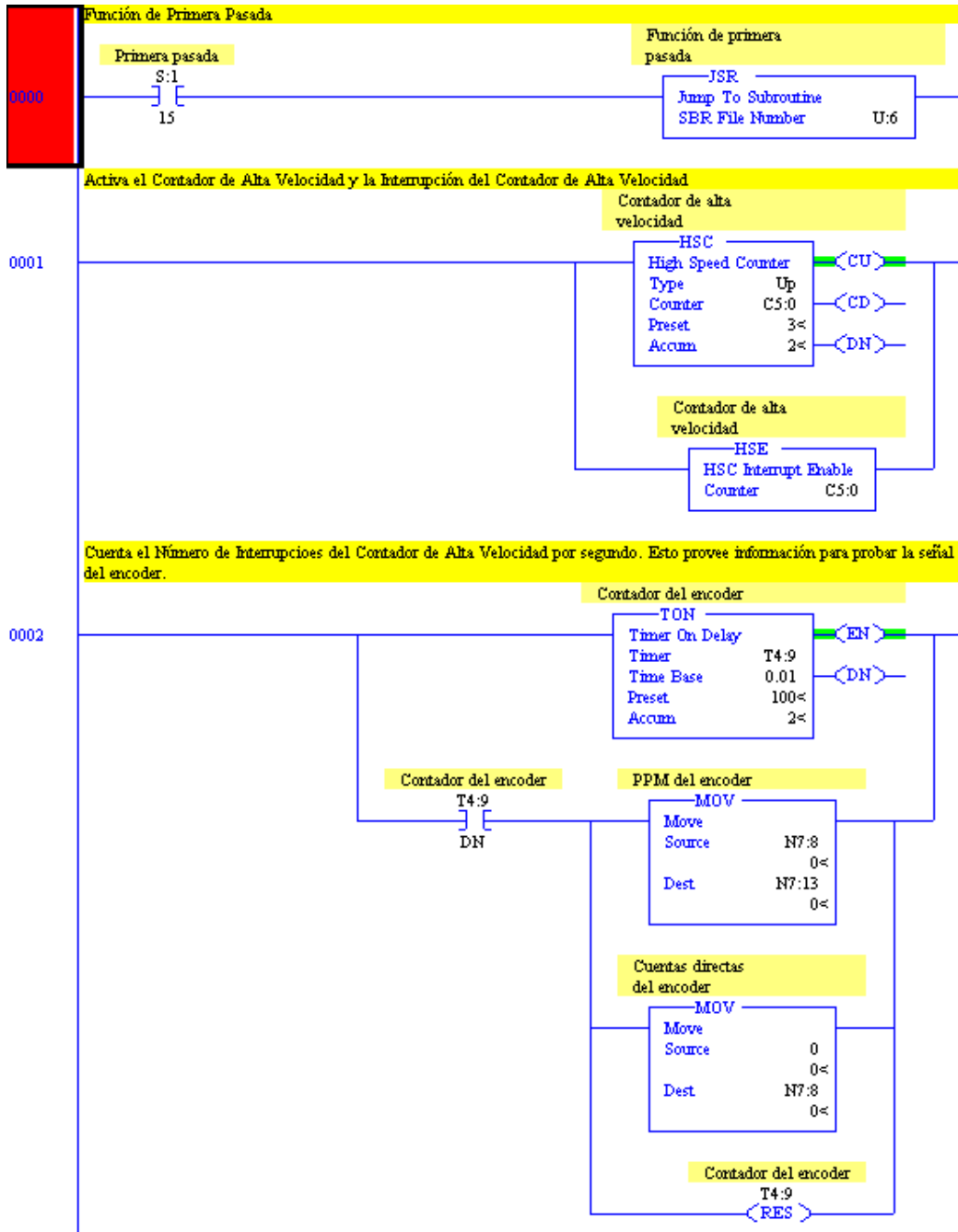


Figura 21 Diagrama de estados del programa del PLC



Programa del Controlador Lógico Programable.

Programa Principal (MAIN PROGRAM)





Calcula el promedio de el Número de Interrupciones del Contador de Alta Velocidad para el retraso por proceso de la cámara. T4:0 pre es el retraso de la cámara en milisegundos y la base de tiempo es de 10 milisegundos esto provera cuentas por 10 veces el retraso de la camara. Ajusta la salida del registro de corrimiento para el retraso de la cámara.

Rung 2:0003

0003

Temporizador del retraso de la cámara

TON  
 Timer On Delay  
 T4:0  
 Time Base 0.01  
 Preset 78<  
 Accum 31<

Temporizador del retraso de la cámara

Cuentas del encoder del retraso de la cámara

DIV  
 Divide  
 Source A N7:11  
 Source B 10  
 Dest N7:12

Cuentas directas del retraso de la cámara

MOV  
 Move  
 Source 0  
 Dest N7:11

Ajuste del retraso

SUB  
 Subtract  
 Source A N7:0  
 Source B N7:12  
 Dest N7:4

Temporizador del retraso de la cámara

T4:0

Prueba que la longitud del corrimiento ajustado no sea mayor que la del arreglo, y tambien prueba que el registro de corrimiento seas mayor a cero.

0004

Ajuste del retraso

GRT  
 Greater Than (A>B)  
 Source A N7:4  
 Source B 1000

Ajuste del retraso

MOV  
 Move  
 Source 1000  
 Dest N7:4

Ajuste del retraso

LES  
 Less Than (A<B)  
 Source A N7:4  
 Source B 0

Ajuste del retraso

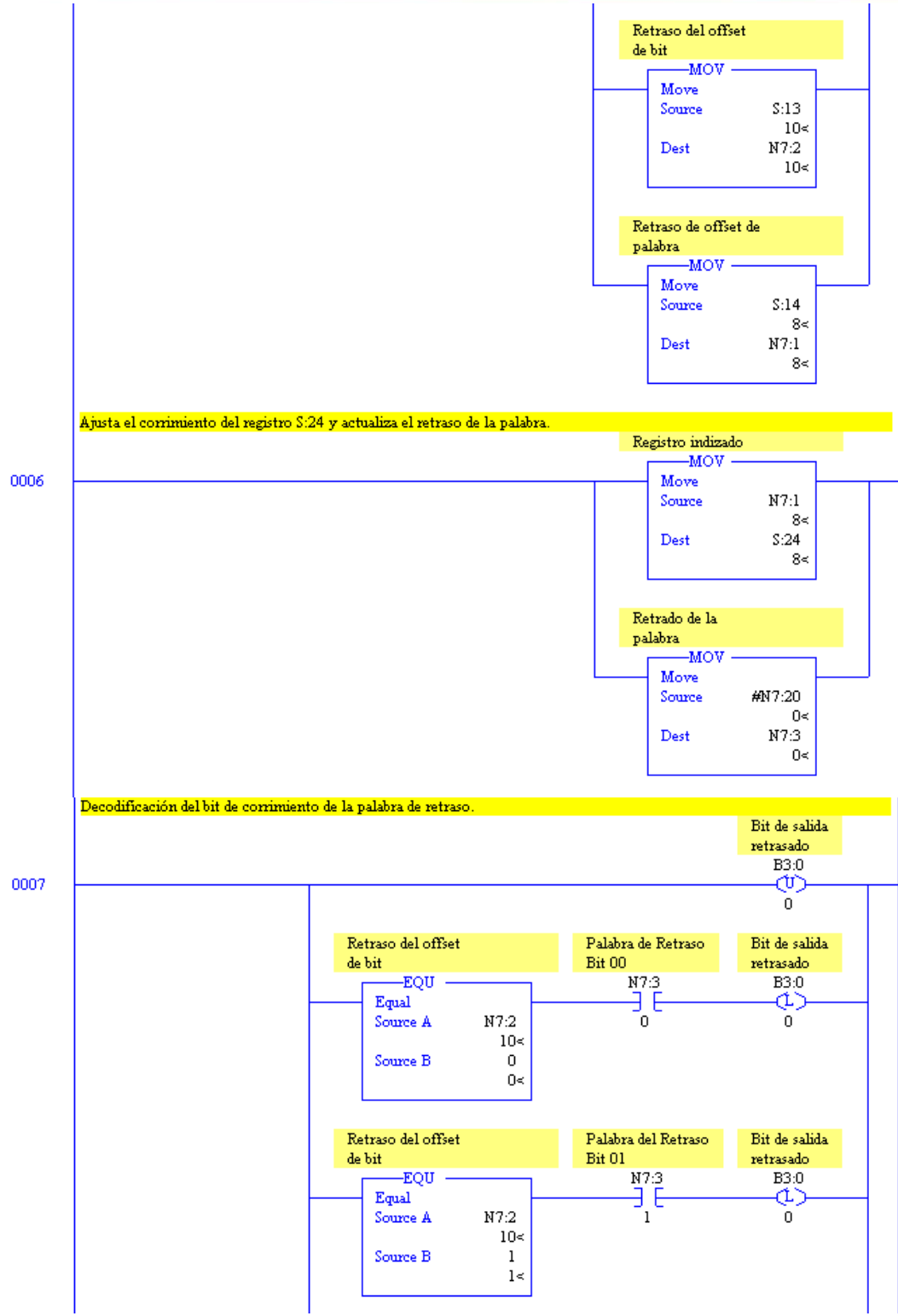
MOV  
 Move  
 Source 0  
 Dest N7:4

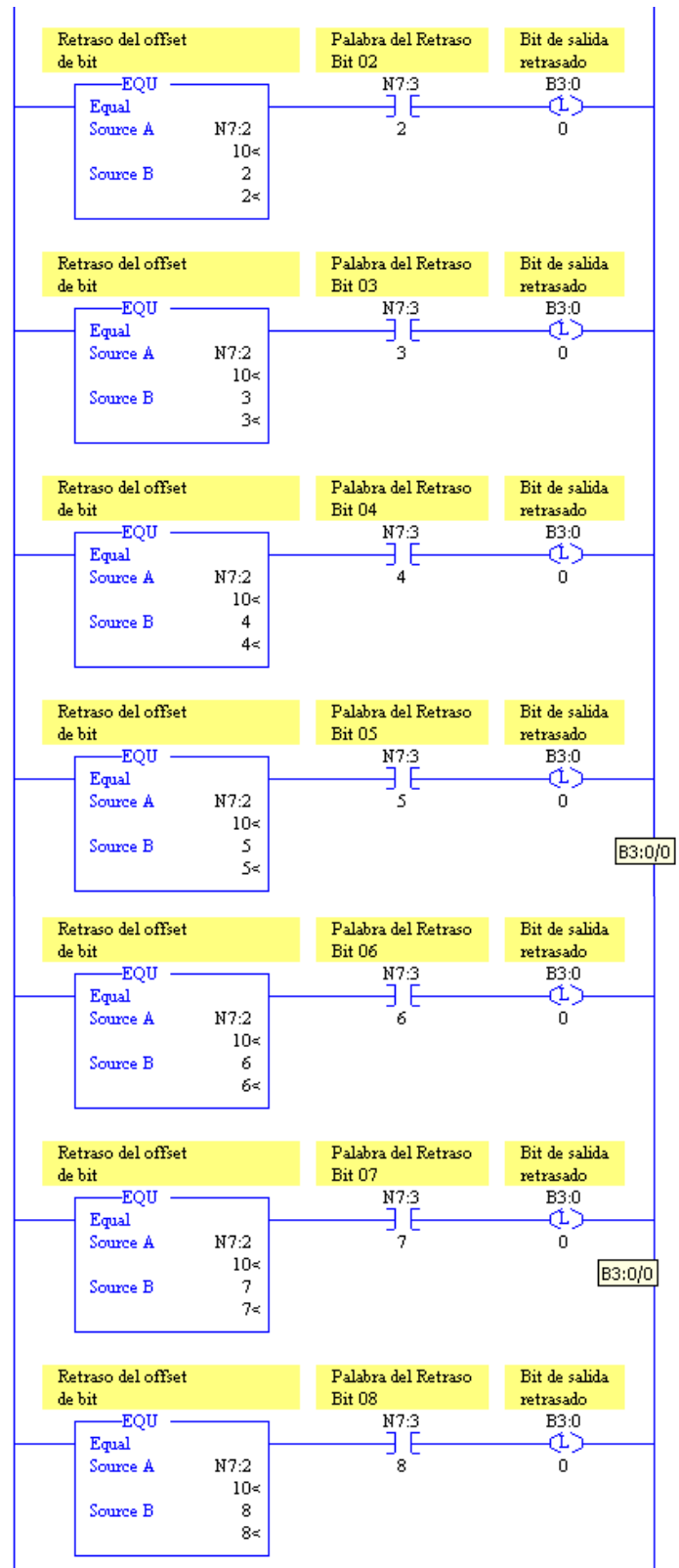
Divide la longitud del corrimiento para buscar el offset (ms math reg) y el offset de byte (ls math reg).

0005

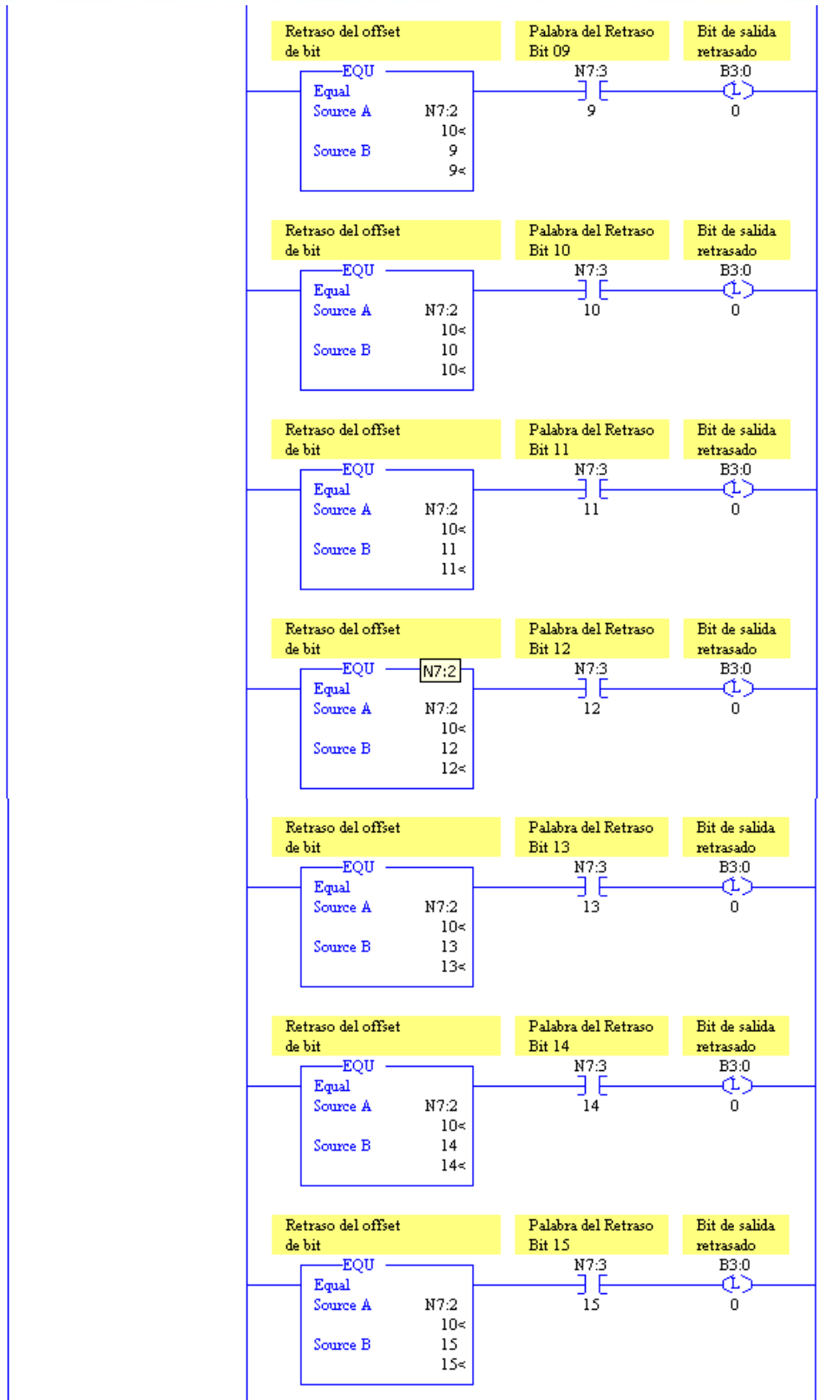
Retraso de offset de palabra

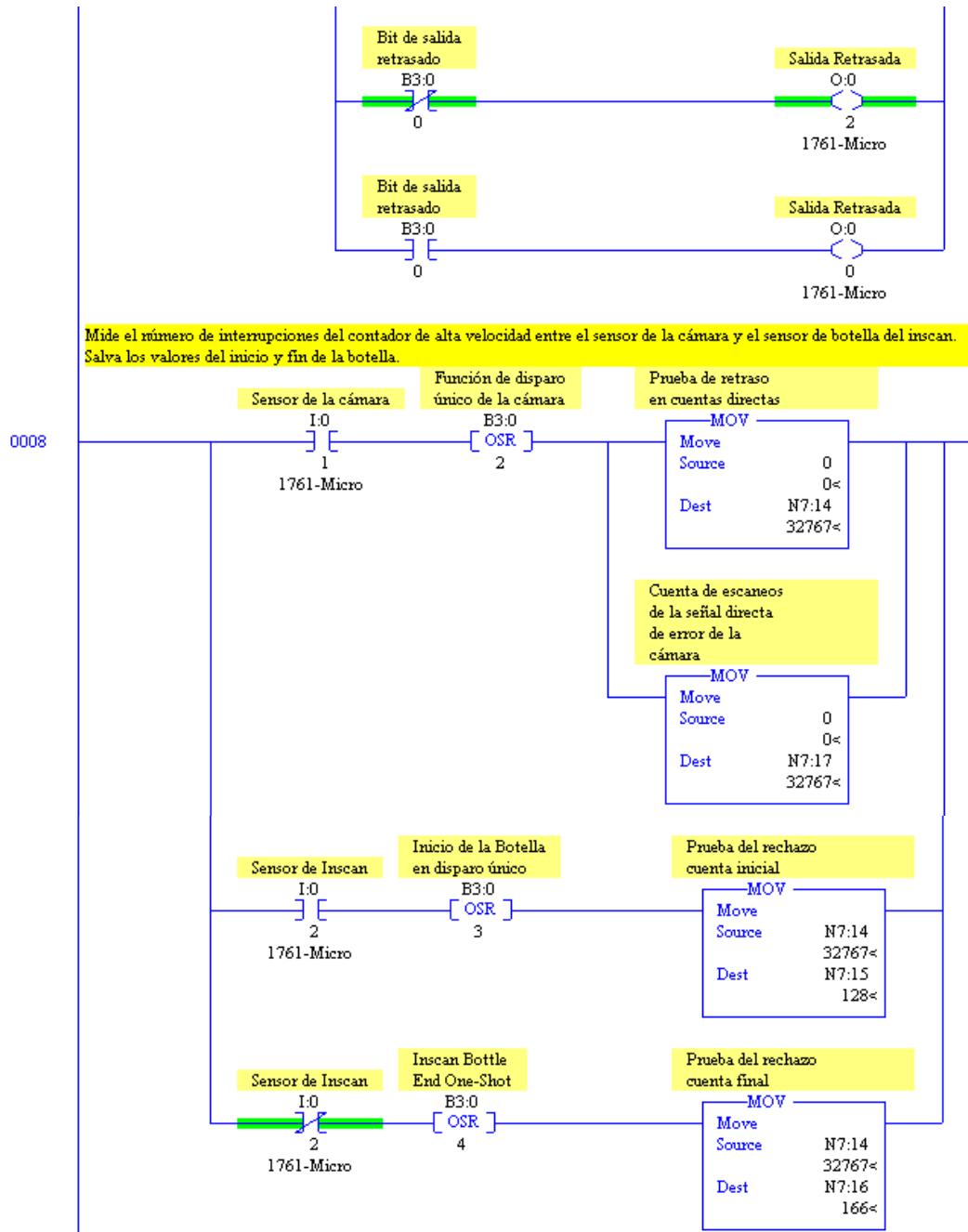
DIV  
 Divide  
 Source A N7:4  
 Source B 16  
 Dest N7:1

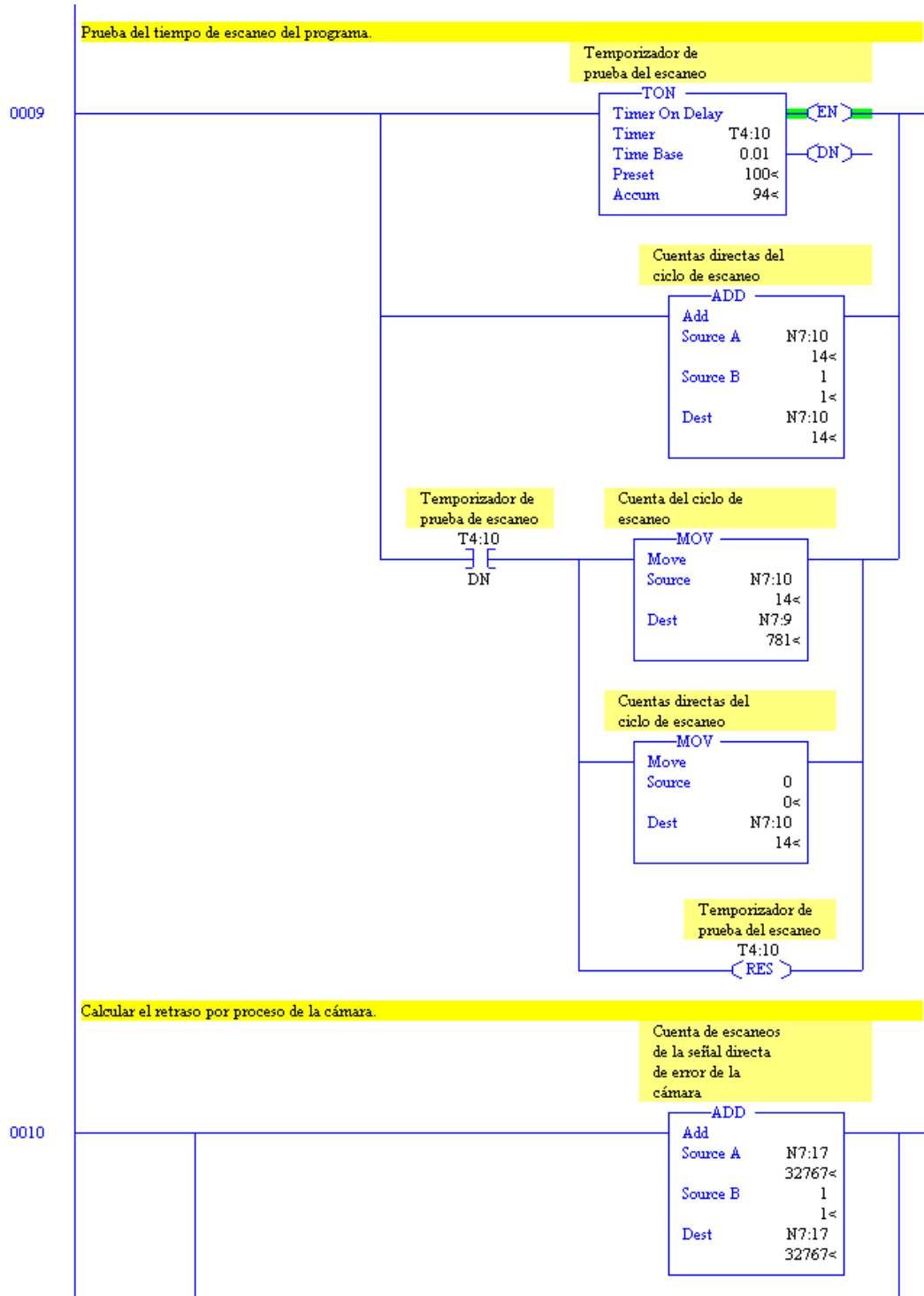












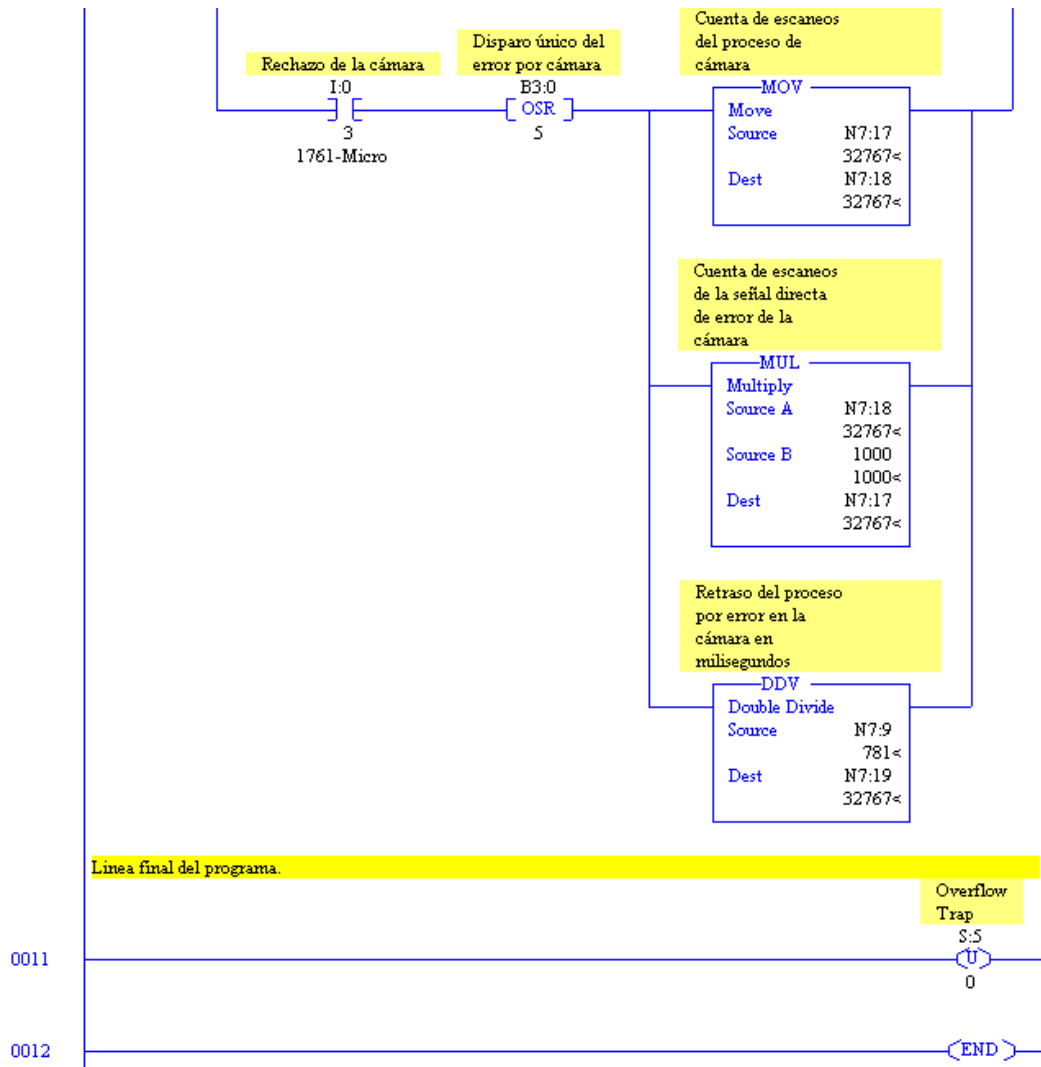
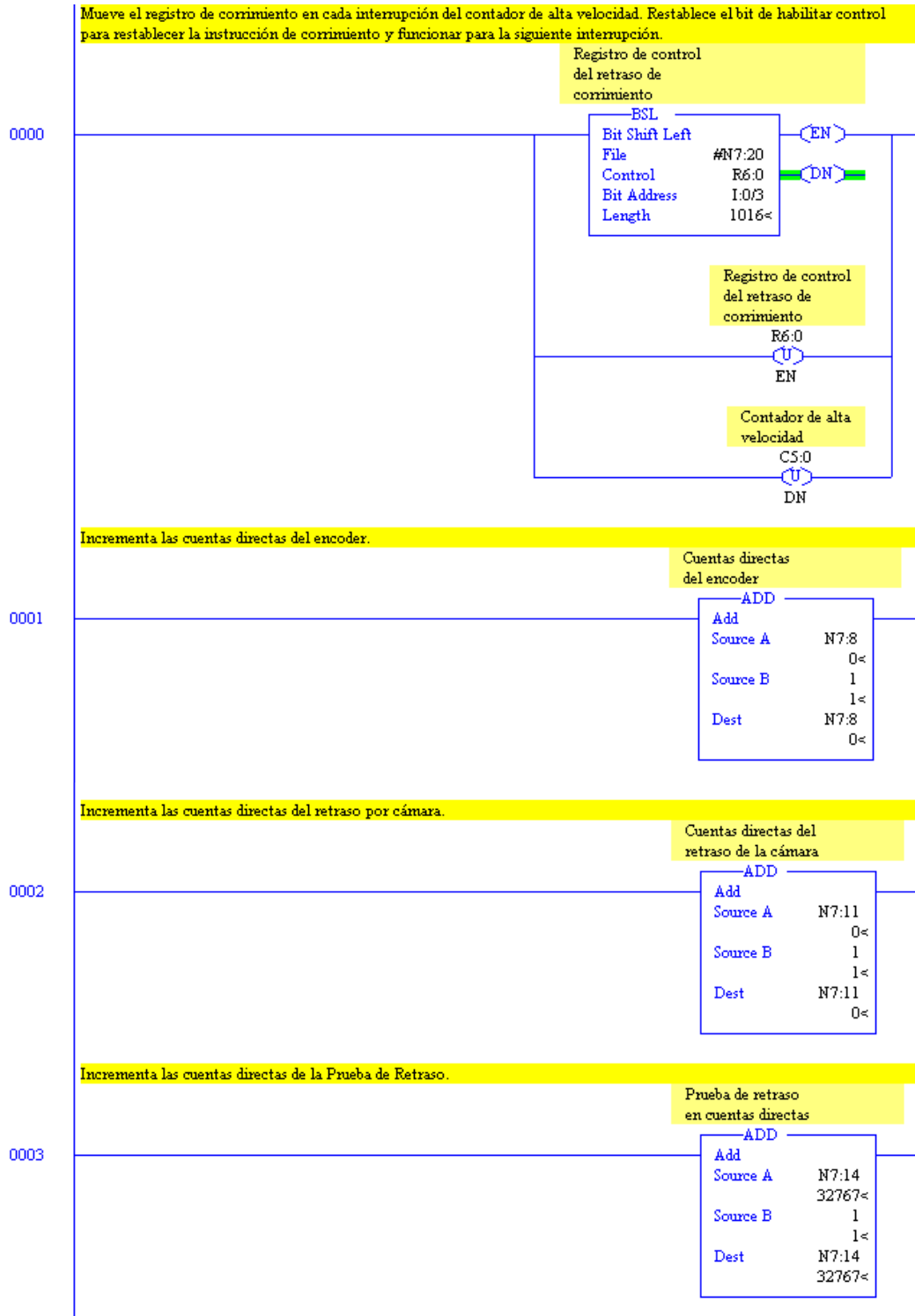


Figura 22 Programa principal



Interrupción por señal del encoder (HSC\_INT)



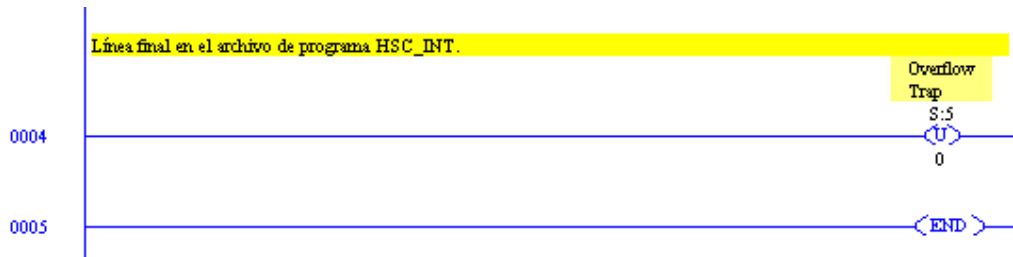


Figura 23 Interrupción por señal de encoder

Función de primera pasada (FIRST PASS)

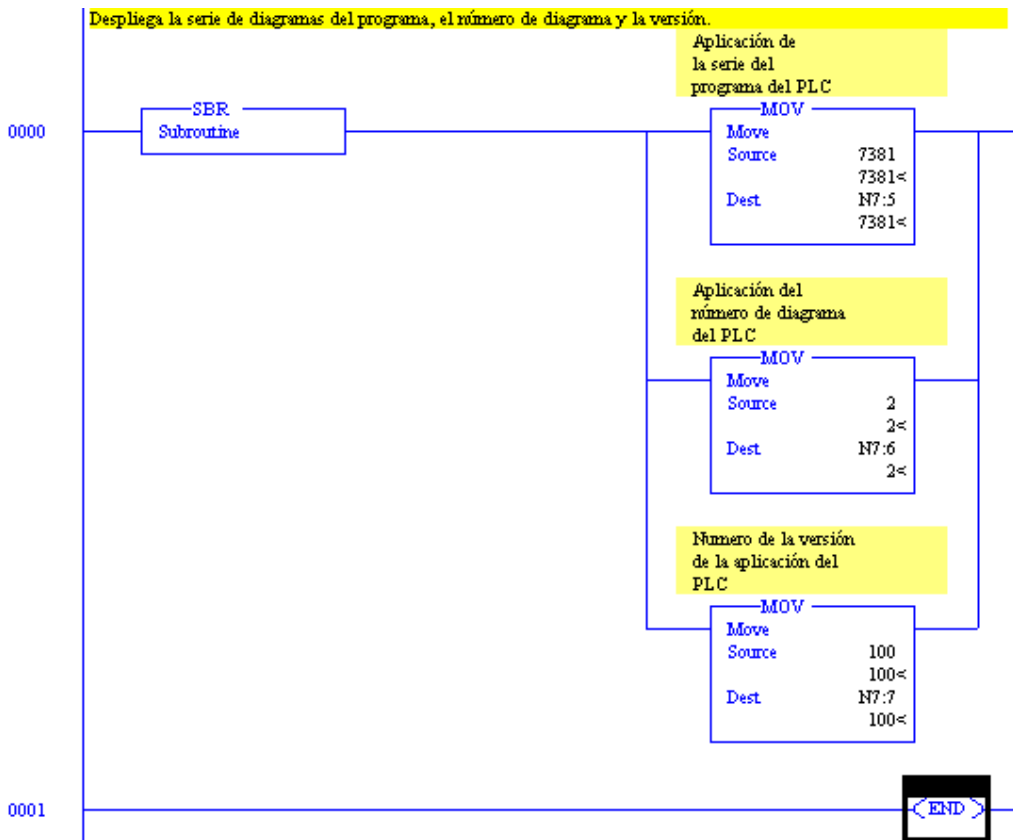


Figura 24 Función primera pasada





### **Paso 8**

Respecto a la siguiente actividad de mejora del equipo está la instalación de la doble inspección fotográfica que constaría de dos cámaras alineadas a 180 grados entre ellas para igualar a los equipos de empresas competidoras.



## 8.- Conclusiones.

La inspección en línea es cada vez más importante no solo en los controles de calidad internos de los centros productivos sino también se ha convertido en requisito para exportación de productos, la inspección de rayos-X e imagen no solo se utiliza para las aplicaciones aquí expuestas sino también en la detección de contaminantes y en la integridad de el contenido de paquetes cerrados. Por lo que esta tecnología está en constante crecimiento. El objetivo de este trabajo fue el de explicar solo una parte de todo el espectro de aplicaciones así como la de la implementación de la inspección por imagen, un punto cada vez más crítico en los procesos de envasado.

El resultado de la mejora fue completamente satisfactorio para el cliente, el problema de envases mal cerrados representaba el mayor reto para la inspección por imagen debido a los altos estándares de calidad en el mercado de las bebidas para deportistas las cuales no solo son consumidas en el mercado nacional también son exportadas a Centro y Sudamérica este tema en particular se había convertido en crítico en el envasado de productos Gatorade.



## 9.- Bibliografía.

Principles of X-Ray Inspection,  
Thermo Fisher Scientific. REC 4142, Gianluigi Riva.

Inscan Manual de servicio,  
Thermo Fisher Scientific, Rev 8.11.

Manual de radiología para técnicos: Física, Biología y protección  
radiológica, Pag 146 a 174, Stewart C. Bushong.

MicroLogix\_ 1000 Programmable Controllers: Allen Bradley, Boletín.

Mejora de Procesos Prácticos Simples prácticos, para todos, Eduard  
Zunich, 2003, Thermo Scientific.