

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Sistema de automatización, monitorización y adquisición de datos en el  
proceso de empaque en la línea de jarabes.  
GlaxoSmithKline**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el Título de Ingeniero en  
Electrónica con el Grado Académico de Licenciatura**

Jeison Cambronero Zúñiga 200424019

Cartago, Agosto del 2011

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Gabriela Ortiz L.  
Profesora lectora



Ing. Leonardo Rivas A.  
Profesor lector



Ing. Marvin Hernández.  
Profesor Asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, Agosto del 2011

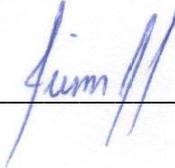
## **Declaratoria de autenticidad:**

Por medio de la presente, yo, Jeison Cambronero Zúñiga, cédula 3-413-040, declaro que la realización de este documento ha sido hecha por mi persona utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia asumo la responsabilidad total por el documento realizado y por su contenido correspondiente, el cual es una producción original y autentica y no corresponde a plagio de ningún tipo.

Cartago, Agosto del 2011



Jeison Cambronero Zúñiga

Céd: 3-413-040

## Resumen

GlaxoSmithKline, farmacéutica encargada de procesos de manufactura y empaque de productos, en los últimos años ha percibido la necesidad de automatización, monitorización y optimización de sus procesos de producción.

Sus líneas de empaque se basa en bandas de transporte, las cuales presentan el problema de que las personas encargadas trabajan a diferente velocidad, por ejemplo las ubicadas en los primeros puestos de trabajo de la línea empaican más productos que las demás personas, afectando esto el rendimiento de la persona que está trabajando más.

Al presentar cargas de trabajo desiguales se generan atrasos en la producción, por lo que se afecta la eficiencia de la línea y se desaprovechan los recursos de la empresa.

Surge la opción de igualar las cargas de trabajo a partir de un repartidor equitativo de producto en la línea de jarabes, basando su funcionamiento en sensores, con interfaz sencilla y amigable, monitorización por medio de una cámara web y despliegue de cantidad de producción por persona que se está teniendo en tiempo real sobre una pantalla en el lugar. Además, se guarda el registro estadístico de producción en una hoja de EXCEL para que sea procesado por los encargados de la empresa y tomar así decisiones sobre mejora del proceso y escogencia de personal.

**Palabras clave:** *Cargas de trabajo, Banda de transporte, Repartidor equitativo, Sensores, Monitorización, RT Tiempo real, Registro estadístico.*

## Summary

GlaxoSmithKline is a pharmaceutical company that has in charge of manufacturing and packaging different products. In recent years they have noticed the need for automation, monitoring and improving their production processes.

The packaging process is based on conveyor belts, which have the problem of people working at different rates, but specifically those located at the beginning of the line, packed more products than the other people, affecting their performance compared to people working harder.

Different workloads cause delays in production, so that affecting the efficiency of the line and wasting the company's resources.

One possible solution is to match workloads from an automatic fair dealer product in the line of syrups, basing their work on sensors, with a simple manipulated interface, also monitoring by a webcam and displaying the quantity of processed product per person in real-time on one screen in the line. Statistical records of production are stored in an Excel sheet for processing and make decisions about improving and hiring personnel.

**Keywords:** *Workload, conveyor belts, fair dealer, Sensors, Monitoring, Real Time, Statistical Register.*

## **Dedicatoria**

*A Dios que en Él todo lo he encontrado en el momento justo y correcto.*

*A mi madre, Carmen Zúñiga, que es el amor eterno de mi vida, persona que me ha formado y me tiene en estos momentos en el bienestar en que me encuentro, que es la piedra angular de mi familia y base fundamental de mi vida, no soy nada sin ella.*

*Mi padre Carlos Cambroner, forjador del camino recto en el que estoy, creador y creyente de mis metas personales y las nuestras familiares, ejemplo de trabajo, esfuerzo, responsabilidad y vida, agradecido con Dios por la segunda oportunidad que te dio, esto es para y por ti.*

*Mis hermanos Eduardo, Melissa, Luis Diego, Carlitos y Brandon, ellos son todo para mí, aunque no lo sepan.*

## **Agradecimiento**

*A mis mejores amigos que sin pedirlo están ahí, buenas y malas, voces de aliento, creadores de risas, momentos de descanso y válvulas de escape de las presiones de la vida.*

*A todos y cada una de las personas que a través de toda esta carrera se encontraron a mi lado, el TEC no me no me deja compañeros ni colegas, me deja hermanos de por vida.*

*A la empresa GlaxoSmithKline al, Ing. Francisco Lasso de la Vega por la oportunidad de la realización de mi proyecto para optar por la graduación en la licenciatura de Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por su guía, motivación y realismo enseñado, y al Ing. Danny Chaves por la creación de la oportunidad y desarrollo de la misma y a todas las personas de diferentes departamentos que de una u otra manera se involucraron en el proyecto.*

*Muy en especial a don Heiner Solís, que me desarrolló no solo como trabajador sino como persona, y estuvo siempre a mi lado en la realización exitosa de este proyecto y junto con él, honor tengo de llamar amigos a Dennis Gonzales y Arturo Sánchez.*

*En el área de mantenimiento, gracias por adoptarme, responder todas mis preguntas y ayuda brindada siempre, don Mario Mora y don Manuel Solano y al equipo de técnicos Mena y Soto, Varito, Marco, Alex, don Beto, Rafa y Miles.*

*Finalmente a todos los operarios (rías) de la empresa que me brindaron una calurosa estadía y en especial a las muchachas de la línea de jarabes que me ayudaron y espero haberles beneficiado con mi trabajo.*

## Tabla de contenido

<b>Declaratoria de autenticidad:</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>iv</b>
<b>Summary</b> .....	<b>v</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>vi</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vii</b>
<b>Capítulo 1: Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Entorno del proyecto .....	3
1.2 Problema .....	4
<b>Capitulo 2: Meta y Objetivos</b> .....	<b>5</b>
2.1 Meta .....	5
2.2 Objetivo General .....	5
2.3 Objetivos Específicos .....	5
<b>Capitulo 3: Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
3.1. Descripción del proceso por mejorar en la línea de jarabes. ....	6
3.2 Antecedentes .....	8
3.3 Descripción de los principales componentes por emplear para implementar la solución. ....	8
3.3.1 PLC .....	8
3.3.2 Sensores .....	10
3.3.3 Encoder: .....	11
3.3.4 Actuadores .....	12
3.3.5 HMI .....	14
3.3.6 Protocolo MEWTOCOL .....	14
3.3.7 Lenguaje de Programación Visual Basic .....	15
<b>Capitulo 4: Procedimiento Metodológico</b> .....	<b>16</b>
4.1 Reconocimiento y definición del problema .....	16
4.2 Obtención de información .....	17
4.3 Síntesis e implementación de la solución .....	17
<b>Capitulo 5: Descripción detallada de la solución</b> .....	<b>19</b>
5.1 Espacio físico de trabajo .....	19
5.2 Requisitos de la solución. ....	22
5.3 Descripción y análisis de la solución final. ....	27
5.3.1 Descripción del Hardware .....	34

5.3.2	Descripción del Software.....	40
<b>Capítulo 6:</b>	<b>Análisis de Resultados .....</b>	<b>57</b>
<b>Capítulo 7:</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>65</b>
7.1	Conclusiones. ....	65
7.2	Recomendaciones .....	66
<b>Bibliografía .....</b>		<b>67</b>
<b>Apéndices y anexos.....</b>		<b>69</b>
A.1	Glosario y Abreviaturas .....	69
Abreviaturas .....		69
Glosario .....		69
A.2.	Manual de Usuario .....	71
A.3	Información sobre la empresa.....	77
A.3.1	Descripción de la empresa .....	77
A.3.2	Descripción del departamento en la que se realizó el proyecto .....	77
A.4	Detalles de la conexión del PLC. ....	78
A.5	Datos numéricos mediciones gráficas para análisis de resultados. ....	88
A.6	Muestra de adquisición de datos sábado 21 de mayo del 2011 para corroborar funcionamiento del software a nivel de la PC. ....	90
A.5	Fórmulas .....	92

## Índice de Figuras

<b>Figura 3.1:</b> Vista superior mesa antigua de empaque.....	6
<b>Figura 3.2:</b> Presentación Jarabe Dolex 90 ml. El envase y su empaque. ....	7
<b>Figura 3.3:</b> Serie FPX de Panasonic (El más grande es el AFPX-C60R) [2].....	9
<b>Figura 3.4:</b> Dimensiones en mm del PLC AFPX-C60R [2].....	9
<b>Figura 3.5:</b> Sensor E3T-ST13 [4].....	10
<b>Figura 3.6:</b> Sensor E3T-FT13 [4].....	10
<b>Figura 3.7:</b> Sensor inductivo Contrinex DW-AS-623-M8-001 [5].....	11
<b>Figura 3.8:</b> Colocación del sensor inductivo respecto a la rueda dentada para implementar un encoder.....	12
<b>Figura 3.9:</b> Bloque de electroválvulas SY5120-5DZ-01 [6] .....	13
<b>Figura 3.10:</b> Actuadores Neumáticos Rotativos CDRB1BW30-90S <sup>[8]</sup> .....	14
<b>Figura 5.1:</b> Mesa de trabajo.....	19
<b>Figura 5.2:</b> Distribución de elementos alrededor de la mesa. ....	20
<b>Figura 5.3:</b> Medidas superficiales de la mesa de trabajo .....	21
<b>Figura 5.4:</b> Guías y paletas desviadoras de la solución implementada.....	22
<b>Figura 5.5:</b> Dimensiones paleta desviadora. Diseño inicial por parte del estudiante. ....	23
<b>Figura 5.6:</b> Vista superior carrera de movimiento de la paleta de acuerdo al máximo ancho de envases de jarabes.....	24
<b>Figura 5.7:</b> Nuevas guías metálicas para crear dos canales desviadores.....	27
<b>Figura 5.8:</b> Diseño primera paleta desviadora, hacia la guía izquierda o derecha. Vista frontal.....	28
<b>Figura 5.9:</b> Diseño primera paleta desviadora, hacia la guía izquierda o derecha. Vista lateral. ....	28
<b>Figura 5.10:</b> Medidas y vistas superior, laterales e isométrico de las paletas desviadoras finales.....	29
<b>Figura 5.11:</b> Medidas de límites de las aéreas efectivas de espacio de trabajo para cada persona.....	30
<b>Figura 5.12:</b> Diseño de las guías, soportes y paletas. Vista lateral. ....	31
<b>Figura 5.13:</b> Diseño del canal interno en las guías para sondear los cables de los sensores hacia el PLC. ....	32
<b>Figura 5.14:</b> Implementación de las guías. Modelo real.....	32
<b>Figura 5.15:</b> Implementación de las guías. Modelo real, vista desde atrás. ....	33
<b>Figura 5.16:</b> Implementación de las guías. Modelo real, vista de atrás.....	33

<b>Figura 5.17:</b> Diagrama de bloques conexión electroválvula-actuador-paleta. ....	34
<b>Figura 5.18:</b> Implementación movimiento primer paleta desviadora. ....	35
<b>Figura 5.19:</b> Montaje de paletas secundarias Vista superior e inferior. ....	36
<b>Figura 5.20:</b> Movimiento de la paleta. ....	37
<b>Figura 5.21:</b> Posición de los sensores en la mesa de trabajo. ....	38
<b>Figura 5.22:</b> ..... Interrupción en posición ON (Luz VERDE encendida)      Interrupción en posición OFF (Luz ROJA encendida). ....	40
<b>Figura 5.23:</b> Diagrama de bloques inicial de la programación del PLC .....	42
<b>Figura 5.24:</b> Diagrama de bloques inicial de la programación del PLC .....	43
<b>Figura 5.25:</b> Diagrama de bloques para la repartición 50/50. ....	44
<b>Figura 5.26:</b> Interruptor de Selección de Encendido del Sistema (SELECCIÓN) y ..... Reset de Contadores del sistema en el Panel Principal del Sorteador de Envases. ....	45
<b>Figura 5.27:</b> Diagrama de bloques repartición de envases de acuerdo a interruptores de puesto en ON .....	47
<b>Figura 5.28:</b> Diagrama de bloques para la repartición equitativa sobre la guía derecha. ....	50
<b>Figura 5.29:</b> Interfaz de software a nivel de PC. ....	51
<b>Figura 5.30:</b> Boceto de la interfaz de software a nivel de PC.....	53
<b>Figura 5.31:</b> Formatos de trama de comandos de pregunta y respuesta, protocolo Mewtocol [17].....	55
<b>Figura 6.1:</b> Mediciones de cantidad de envases empacados en Octubre del 2010, para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto y 6 personas trabajando en la línea. Promedio ideal 12 envases por minuto. Promedio real 10,85 envases por minuto.....	58
<b>Figura 6.2:</b> Mediciones de cantidad de envases empacados en Abril del 2011, para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto y 6 personas trabajando en la línea. Promedio ideal 12 envases por minuto. Promedio real 12 envases por minuto. ....	58
<b>Figura 6.3:</b> Mediciones de cantidad de envases empacados en Octubre del 2010, para la presentación de 60 ml, con una producción de 60 envases por minuto y 4 personas trabajando en la línea. Promedio ideal 15 envases por minuto. Promedio real 12,9 envases por minuto.....	59
<b>Figura 6.4:</b> Mediciones de cantidad de envases empacados en Abril del 2011, para la presentación de 60 ml, con una producción de 60 envases por minuto y 4 personas	

trabajando en la línea. Promedio ideal 15 envases por minuto. Promedio real 15 envases por minuto.....	59
<b>Figura A.2.1:</b> Ubicación física del Panel Principal del Sorteador y la PC.....	72
<b>Figura A.2.2:</b> Interruptor de Selección de Encendido del Sistema (SELECCIÓN) y.....	72
Reset de Contadores del sistema en el Panel Principal del Sorteador de Envases.....	72
<b>Figura A.2.3:</b> Señalización de botón encendido PC.....	72
<b>Figura A.2.4:</b> Pantalla de Monitorización Línea de Jarabes.....	73
<b>Figura A.2.5:</b> Pantalla de inicio de la PC.....	73
<b>Figura A.2.6:</b> Pantalla de inicialización del software.....	74
<b>Figura A.2.7:</b> Interruptor de selección.....	74
<b>Figura A.2.8:</b> .....	75
Interruptor en posición ON (Luz VERDE encendida)      Interruptor en posición OFF (Luz ROJA encendida).....	75
<b>Figura A.2.9:</b> Movimiento de la paleta al estar en interruptor de encendido de puesto en VERDE.....	76
<b>Figura A.4.1:</b> Numeración de puestos para nombramiento de elementos en diagramas de conexión, números pares del lado derecho y números impares del lado izquierdo de la mesa.....	80
<b>Figura A.4.2:</b> Conexión de componentes en la mesa con la regleta X1 posicionada en el primer mini panel y regleta XPP del panel del PLC.....	81
<b>Figura A.4.3:</b> Conexión de componentes en la mesa con la regleta X2 posicionada en el segundo mini panel y regleta XPP del panel del PLC.....	82
<b>Figura A.4.4:</b> Conexión de componentes en la mesa con la regleta X3 posicionada en el tercer mini panel y regleta XPP del panel del PLC.....	83
<b>Figura A.4.5:</b> Conexión de componentes en la mesa con la regleta X4 posicionada en el cuarto mini panel y regleta XPP del panel del PLC.....	84

## Índice de Tablas

<b>Tabla 5.1:</b> Distancias de las paletas y los soportes.....	31
<b>Tabla 5.2:</b> Nombre en diagramas de flujo a las entradas del PLC.....	41
<b>Tabla 5.3:</b> Nombre en diagramas de flujo a las salidas del PLC .....	41
<b>Tabla 5.4:</b> Nombre en diagramas de flujo a los registros internos del PLC .....	41
<b>Tabla 5.5:</b> Comparación de registro de desplazamiento con registro fijo por pulso de desplazamiento. ....	46
<b>Tabla 5.6:</b> Número de bits de acuerdo a distancia del sensor a la paleta en el lado derecho de la banda.....	49
<b>Tabla 5.7:</b> Número de bits de acuerdo a distancia del sensor a la paleta en el lado izquierdo de la banda .....	49
<b>Tabla 6.1:</b> Velocidades de empaque máximas y mínimas de acuerdo a presentación....	60
<b>Tabla 6.2:</b> Comparación etapa de adquisición de datos automática y manual. ....	63
<b>Tabla A.4.1:</b> Nombre de la señal y patilla en el PLC asignada.....	79
<b>Tabla A.4.2:</b> Resumen de conexiones I/O del PLC a regleta XPP y hacia diferentes regletas .....	85
<b>Tabla A.4.3:</b> Resumen de conexiones en regleta X5 hacia regleta XPP .....	86
<b>Tabla A.4.4:</b> Resumen de conexiones en regleta X1 hacia regleta XPP .....	86
<b>Tabla A.4.5:</b> Resumen de conexiones en regleta X2 hacia regleta XPP .....	86
<b>Tabla A.4.6:</b> Resumen de conexiones en regleta X3 hacia regleta XPP .....	86
<b>Tabla A.4.7:</b> Resumen de conexiones en regleta X4 hacia regleta XPP .....	87
<b>Tabla A.5.1:</b> Medición de empaques por minuto del puesto 2 y puesto 8, para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto. Octubre 2010. ..	88
<b>Tabla A.5.2:</b> Medición de empaques por minuto del puesto 2 y puesto 8, para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto. Abril 2011. ....	88
<b>Tabla A.5.3:</b> Medición de empaques por minuto del puesto 2 y puesto 8, para la presentación de 60 ml, con una producción de 60 envases por minuto. Octubre 2010. ..	89
<b>Tabla A.5.4:</b> Medición de empaques por minuto del puesto 2 y puesto 8, para la presentación de 60 ml, con una producción de 60 envases por minuto. Abril 2011. ....	89
<b>Tabla A.6.1:</b> Adquisición de datos, el sábado 21 de mayo, para corroborar el funcionamiento del software a nivel de la PLC .....	90

## **Capítulo 1: Introducción**

El presente documento presenta la implementación de un sistema de repartición equitativo el cual está encargado de llevar la misma cantidad de envases de jarabe a los puestos de trabajo que se definen sobre una mesa que posee una banda transportadora en su centro.

Se describen los alcances del proyecto, explicando el método para llevar los envases hacia cada uno de los puestos por medio de un sistema electromecánico basado en guías metálicas y el movimiento de paletas, con un control de repartición por medio de un PLC Panasonic de la serie FPX.

Como complemento, se presenta una interfaz que es manipulada por el usuario del sistema, que es capaz de determinar si en todos los puestos de trabajo se encuentra una persona laborando, en cuál puesto hay alguien faltante, y no reparta producto en los puestos donde esté ausente alguna persona.

Finalmente, se describe el sistema de monitorización, que muestra en una pantalla de información la interfaz del programa que maneja la estadística individual de cada persona y de la línea de producción en general, dentro de la empresa.

En este primer capítulo se justifica la necesidad de implementar el sistema, sus etapas iniciales y antecedentes. Se expone el entorno, lugar y espacio donde se realizó el proyecto. Además, se da la explicación, definición y delimitación del problema.

En el segundo capítulo, se delimitan los alcances del proyecto, definiendo su meta, objetivo general y objetivos específicos.

El tercer capítulo de este documento, presenta los detalles del proceso de producción que se da en la línea de trabajo, así como la forma de obtención de la información que describe todos los componentes utilizados para la implementación del sistema.

Posteriormente, en el cuarto capítulo, se describe el proceso de investigación metodológica que se lleva a cabo, detallando la definición del problema, las fuentes principales de información y los pasos de implementación.

En el quinto apartado de este documento se detallan los pormenores de la implementación física, junto con la descripción a nivel de hardware y de software del sistema.

El capítulo 6 expone los resultados obtenidos y su análisis, respecto a los beneficios y alcances del proyecto.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones más importantes.

## **1.1 Entorno del proyecto**

El proyecto se realizó en GlaxoSmithKline, empresa dedicada a la elaboración de productos farmacéuticos, productos de cuidado dental y de la salud, la cual en Costa Rica cuenta con edificios administrativos y de manufactura, ubicados en Sabanilla de Montes de Oca, en San José.

La planta se concentra en labores de empaque para algunos de sus productos. Para los jarabes, se cuenta con una línea de producción que cumple las etapas de fabricación del jarabe, llenado, etiquetado, pesaje y empaque del producto final, en presentación individual y presentación de distribución.

Esta línea es una conexión de bandas transportadoras en serie, la cual en su penúltima etapa de producción se encarga de empacar el frasco de jarabe en su respectiva caja, con sus indicaciones y de acuerdo al producto, un implemento para su aplicación, ya sea una cuchara o un gotero.

Esta etapa es operada por 8 personas sentadas alrededor de una mesa rectangular y por el centro de la mesa pasa la banda transportadora; sobre la banda se colocan los envases por empacar, cada persona toma un envase, lo empaca, y nuevamente lo coloca en la misma banda.

GlaxoSmithKline para procesos que involucran manufactura y distribución del producto como el que se mencionó anteriormente, trabaja de acuerdo a órdenes de producción, que se presentan en un plan establecido. De acuerdo a este plan, se determina una ruta para cada producto. La ruta indica la cantidad de personas que se requiere en el proceso y la velocidad a la que se debería de trabajar cada presentación (para el caso de los jarabes la máxima velocidad de la máquina es de 72 unidades por minuto y la mínima de 55 unidades por minuto).

## 1.2 Problema

Cada plan establecido de la empresa determina cuánto debería de durar cada una de estas órdenes y de acuerdo al tiempo real de cumplimiento de estos planes, los encargados administrativos determinan si se está dando un empaque lento o no.

Al estarse presentando el incumplimiento de estos planes, la empresa realizó estudios estadísticos de la etapa de empackado, los cuales dejaron en evidencia que las personas encargadas del empaque manual estaban trabajando a diferente velocidad; en consecuencia, los primeros puestos en la mesa tenían una carga de trabajo mayor, al estar procesando más producto.

Se han tomado varias medidas por la empresa para contrarrestar esta situación; una de ellas ha sido la rotación de puestos, haciendo esta rotación dos veces por turno. A pesar de que al aplicar esta medida y tomar las mediciones de empaque por persona, se mantuvo la condición de que la primer persona empacaba más. Además, se crearon los premios ERA, lo cual son reconocimientos que se entregan cada tres meses y sólo los ganan las personas que estén destacando por su trabajo, personas que estén dando la *milla extra*.

Estudios más detallados del porqué se está dando esta situación no han sido realizados, por lo que se puede pensar en situaciones psicológicas, de actitud o de aptitud entre otras, pero en realidad no se sabe con seguridad qué es lo que realmente está pasando, lo que afecta el rendimiento de la persona que está trabajando más.

Las pérdidas calculadas por el departamento de Operaciones de la empresa son considerables en el aspecto económico, ya que debido a personal lento la empresa pierde 386.5 horas hombre, lo cual equivale a 231900 unidades sin empackar, o sea 10.6 lotes de producto a los cuales se les retrasa su distribución.

## **Capitulo 2: Meta y Objetivos**

### **2.1 Meta**

Que todas las órdenes de producción se cumplan en el tiempo determinado de acuerdo al plan establecido de la empresa.

### **2.2 Objetivo General**

Establecer una plataforma de operación con el fin de igualar las cargas de trabajo de las personas encargadas de empacar los envases de jarabe en la línea de producción.

### **2.3 Objetivos Específicos**

Diseñar un sistema electromecánico que reparta de forma equitativa los envases de jarabe que se procesan en la línea.

Implementar un sistema de monitorización, que se encargue de contar y desplegar en una pantalla la producción que se esté llevando a cabo en cada puesto de trabajo.

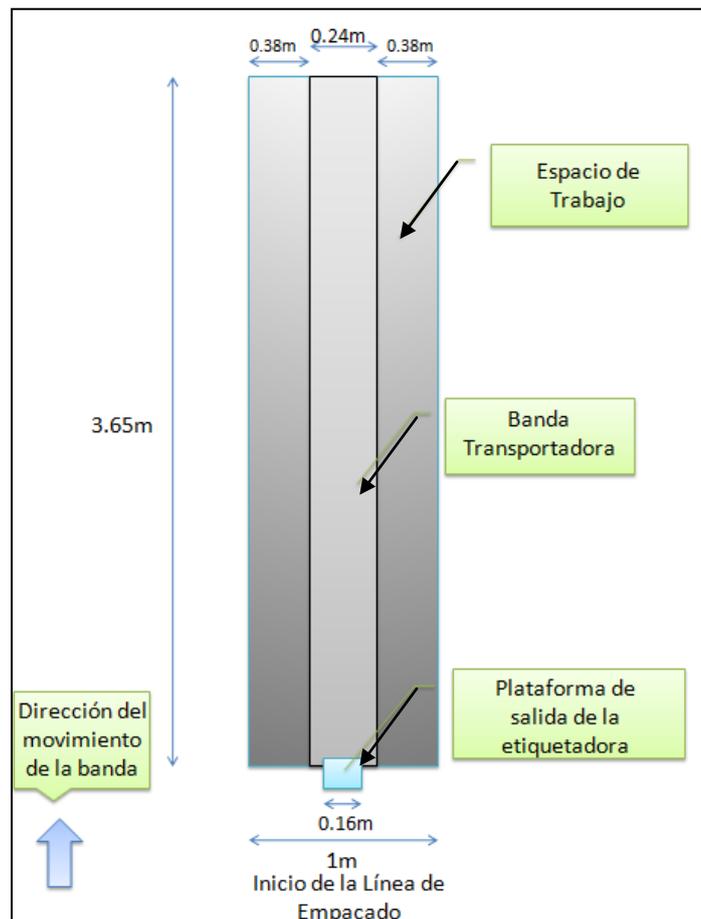
Diseñar un sistema de adquisición de información que permita conocer el conteo de productos empacados por turno de trabajo, tanto en forma individual como total.

## Capítulo 3: Marco Teórico

### 3.1. Descripción del proceso por mejorar en la línea de jarabes.

El proyecto se realiza en la línea de jarabes de GlaxoSmithKline. Esta es una de las líneas que posee un proceso completo de producción, ya que va desde la mezcla de la fórmula química del jarabe, hasta su distribución en los comercios.

El sistema implementado se elabora en la línea de empaque individual de envases de jarabes; el proceso se realiza en el espacio físico de una mesa que posee una banda de transporte de extremo a extremo y en su centro, tal como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 3.1:** Vista superior mesa antigua de empaque

En la línea de empaques se trabaja con presentaciones de 15 ml, 30 ml, 60 ml, 120 ml y ocasionalmente 90 ml, de diferentes marcas y fórmulas producidas por la empresa.



**Figura 3.2:** Presentación Jarabe Dolex 90 ml. El envase y su empaque.

El proceso de empaque individual consta de diferentes pasos de acuerdo a la presentación que se esté trabajando. Para la presentación más compleja los pasos por seguir son los siguientes:

- Tomar con la mano derecha el envase que está sobre la banda y con la izquierda la caja de cartón aplastada en la cual va el envase.
- Con la mano derecha adjuntar alrededor del envase la circular respectiva (Instrucciones) y con la misma mano, tomar, ya sea un gotero o una cuchara de acuerdo a la presentación y con la mano izquierda abrir la caja de empaque.
- Ingresar el envase con sus adicionales en la caja de cartón y cerrar la tapa.
- Colocar nuevamente en la banda de transporte el jarabe empacado con la mano derecha y con la mano izquierda ir buscando la nueva caja aplastada para estar listo para el siguiente envase.

## **3.2 Antecedentes**

La escogencia de componentes para implementar la solución se da con el estudio de manuales disponibles en la red, así como la documentación de los productos ofrecidos por parte de los proveedores de la empresa y asesoramiento del departamento de mantenimiento.

Igualmente, se utilizan como referencia libros de aprendizaje de lenguajes de programación de la biblioteca del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Se usan software libres, así como adquiridos por medio de su compra, para las tareas que envolvían el uso de programas computacionales, de los cuales las paginas oficiales de las casas matrices que ofrecen este tipo de productos, cuentan con la documentación para su utilización y manejo.

## **3.3 Descripción de los principales componentes por emplear para implementar la solución.**

### **3.3.1 PLC**

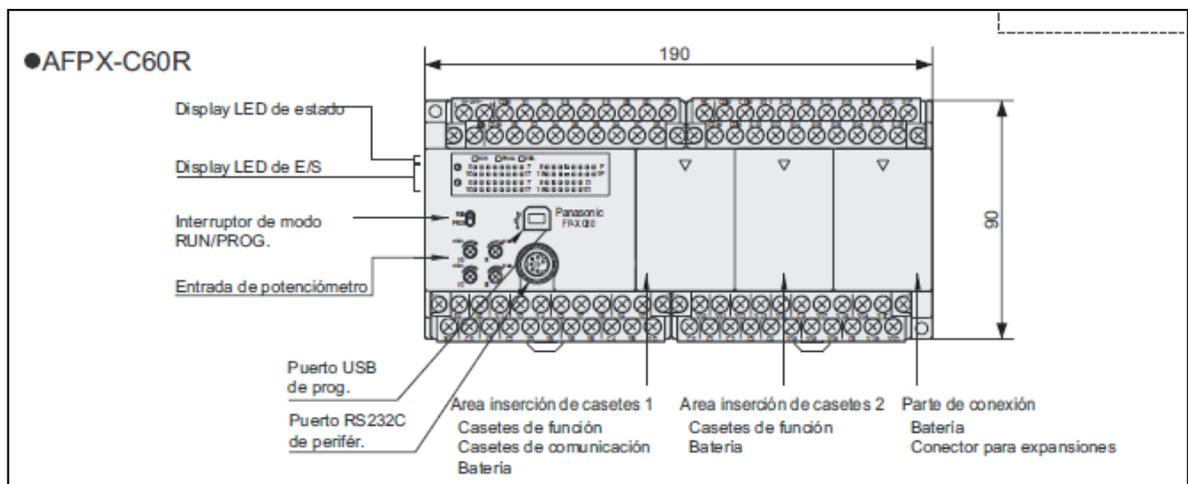
El PLC (Programable Logic Controller) o autómata programable industrial es un componente electrónico, el cual es capaz de aplicar un control lógico en tiempo real, para procesos secuenciales. [1]

De la empresa Panasonic, se escoge el PLC AFPX-C60R, debido a que se ocupan 25 entradas lógicas para las señales que se utilizan y este modelo de PLC cuenta con 32, las características principales del mismo se exponen a continuación: [2]

- Alimentación de 100 a 240 V CA.
- 32 entradas (24 V CD)
- 28 salidas a relé (24 V CD, 2 A)
- Capacidad de programación: 32 k pasos por segundo.
- 4 potenciómetros
- Puerto USB integrado para programación y comunicación.



**Figura 3.3:** Serie FPX de Panasonic (El más grande es el AFPX-C60R) [2]



**Figura 3.4:** Dimensiones en mm del PLC AFPX-C60R [2]

### 3.3.2 Sensores

#### 3.3.2.1 Sensores Fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos utilizados para el proyecto son de la serie E3T de OMRON, de tecnología *through-beam*, que se componen de 2 partes, emisor y receptor. Su escogencia se basa en criterios de tamaño, debido a que son de los más pequeños del mercado con un tamaño de 14,6 mm x 7,5 mm x 7 mm para el E3T-ST y 15,8 mm x 12 mm x 3 mm para el E3T-FT.

Se utilizan 2 modelos diferentes en su forma física pero que cumplen la misma función. Su tarea en el proyecto es la de detectar la presencia de un envase para hacer conteos, por lo que cada vez que se interrumpa el haz de luz se da una cuenta. Los modelos específicos utilizados son los siguientes:



**Figura 3.5:** Sensor E3T-ST13 [4]



**Figura 3.6:** Sensor E3T-FT13 [4]

Ambos sensores son tipo Light ON con salida PNP, y un alcance de haz de luz de 1 metro de emisión para el tipo E3T-FT13 y de medio metro para el modelo E3T-ST13, de emisor a receptor. Funcionan con una fuente de 24 V, y su salida también es de 24 V. Cuenta con 2 luces piloto, las cuales indican interrupción del haz de luz y estabilidad de la señal que se está recibiendo. [4]

### **3.3.2.2 Sensores Inductivos**

Estos sensores detectan la presencia de materiales metálicos ferrosos, generalmente el sensor pone en alto su salida o no de acuerdo a la distancia que haya entre el sensor y el material metálico. [3]

El siguiente es el sensor utilizado por su disponibilidad en la empresa debido a que se contaba con el dispositivo en inventario, tipo PNP, de 24 V DC y con trabajo a una proximidad de 2 mm. [5]



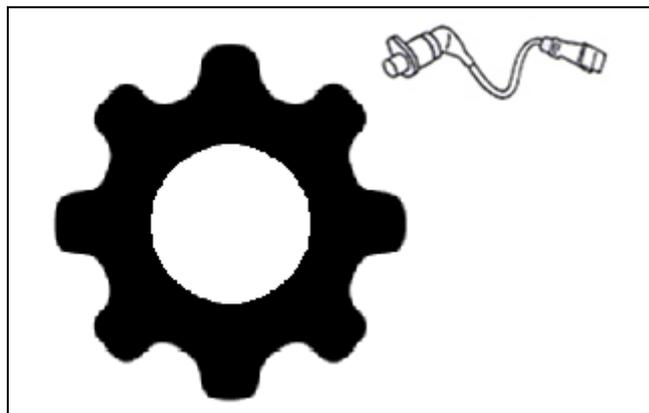
**Figura 3.7:** Sensor inductivo Contrinex DW-AS-623-M8-001 [5]

### **3.3.3 Encoder:**

El encoder es un conjunto de componentes para determinar distancias y dirección de movimiento generalmente en motores. Este utiliza una codificación y

convierte una posición angular en un código digital. Existen 2 tipos, el incremental, que solo detecta movimiento en una dirección y el absoluto que detecta movimiento en ambas direcciones del eje donde se coloca el sistema. [3]

Se utiliza un encoder incremental para determinar la posición física de los objetos en la banda de transporte. Su implementación se da al colocar la rueda dentada sobre el reductor del motor que gira la banda y encima se coloca el sensor inductivo.



**Figura 3.8:** Colocación del sensor inductivo respecto a la rueda dentada para implementar un encoder.

### **3.3.4 Actuadores**

#### **3.3.4.1 Electroválvulas**

Es un dispositivo eléctrico que funciona como válvula de paso para algún elemento que realiza el movimiento, ya sea agua o aire. Este componente deja pasar en una dirección el elemento de control que se esté usando cuando se le haga pasar una corriente eléctrica a través de él, en caso de la ausencia de la corriente eléctrica, dejará pasar en sentido contrario dicho elemento. [3]

Se adquiere el modelo de electroválvulas marca SMC, modelo SY5120-5DZ-01, las cuales tienen un montaje en bloque con cableado individual, con características neumáticas, de 24 V en DC y con LED indicador de encendido de la misma, muy importante con 2 posiciones monoestables, esto quiere decir que mantiene su flujo de aire en una dirección hasta que se le desactive la alimentación. [6]



**Figura 3.9:** Bloque de electroválvulas SY5120-5DZ-01 [6]

### **3.3.4.2 Actuator Rotatorio**

El actuador rotatorio tiene como función generar un movimiento sobre un eje y de manera circular, o sea un movimiento giratorio. Estos generalmente poseen limitadores de carrera, que definen su ángulo de movimiento en grados. [7]

Se escoge el actuador rotatorio CDRB1BW30-90S, marca SMC, neumático, con carrera fija de 90° y una fuerza de 25 N a 30 N, y con un montaje frontal. [8]



**Figura 3.10:** Actuadores Neumáticos Rotativos CDRB1BW30-90S <sup>[8]</sup>

### **3.3.5 HMI**

HMI (Human Machine Interface) o interfaz máquina-humano, es una implementación en software, la cual posee elementos como menús, ventanas y botones para crear un canal de comunicación entre el ser humano y la máquina que se esté controlando. [9]

La interfaz utilizada, basa su funcionamiento en la muestra de los datos de conteo de producto procesado individual y total en una pantalla, además presenta la imagen en vivo capturada de una cámara web colocada en el lugar de trabajo y posee un sistema de almacenaje de los datos obtenidos en un archivo Excel.

### **3.3.6 Protocolo MEWTOCOL**

El protocolo MEWTOCOL fue creado por la Panasonic para la comunicación con sus PLCs que tengan algún puerto de comunicación en serie, ya sea el RS232 o el USB, con el que cuentan gran variedad de PLCs de su familia.

Es un protocolo de programación abierto de apoyo para los PLC Panasonic; en la página oficial de la compañía se puede obtener los pasos para controlar la información que posee un PLC, por medio de un protocolo de pregunta y respuesta; así se pueden obtener o establecer los valores de las entradas y salidas, relés internos o registros internos del PLC a través de una computadora.

Se utiliza en lenguaje Visual Basic para cumplir con los requisitos de velocidad de comunicación y mandar cadenas de caracteres ASCII indicados por Panasonic en sus manuales disponibles en línea.

### **3.3.7 Lenguaje de Programación Visual Basic**

Se utiliza el Microsoft Visual Basic 2005 que es una evolución del lenguaje Visual Basic que está diseñado para generar de manera productiva aplicaciones con seguridad de tipos y orientadas a objetos. [10]

Por esta razón y gracias a criterios profesionales obtenidos de ingenieros en sistemas se escoge este lenguaje de desarrollo para crear la HMI que interactúa con la persona encargada de manipular este proyecto.

## **Capítulo 4: Procedimiento Metodológico.**

En el presente apartado se exponen los pasos tomados para la realización del proyecto “Sistema de automatización, monitorización y adquisición de datos en el proceso de empaque en la línea de jarabes en la empresa GlaxoSmithKline”

### **4.1 Reconocimiento y definición del problema**

Se esbozó un plan de trabajo de acuerdo a lineamientos discutidos con el Gerente de Mantenimiento de GlaxoSmithKline y el OE Expert encargado de la optimización de procesos en la empresa.

Se exponen los problemas presentados en la línea de empaque de jarabes, por cuanto es la que presenta más problemas de retrasos en general, y a la cual se le está poniendo atención especial para tratar de intervenirla bajo un estricto control de todos los micro procesos que se llevan a cabo en la misma.

Se delimita la intervención al proceso de empaque manual del jarabe. Esto por la razón de que se involucra el factor humano como factor de rendimiento de este proceso y del cual se determinó que las personas, por razones distintas, están teniendo diferentes cargas de trabajo.

El trabajo se realiza en una mesa que posee una banda de transporte en su centro, la cual lleva los envases de jarabe por empacar y que la cantidad de envases empacados dependen de cuantos envases puedan ser recogidos por la persona sentada en la mesa; se presenta la situación de que las personas sentadas en los primeros puestos de trabajo, empacan más envases que las demás personas.

De esta situación, surge la necesidad de que la repartición de envases conforme vienen de la etapa anterior de producción, sea equitativa, debido a que cuanto mayor sea la recolección de envases en las personas de los primeros puestos, se produce más cansancio afectando la seguridad laboral, y conforme pasa el tiempo, el rendimiento total de la línea, creando acumulaciones no deseadas en la mesa y paros para empacar el producto que por lentitud no se logra empacar.

## **4.2 Obtención de información**

A la hora de que se le expone una propuesta de solución a la empresa, dentro de la misma se encuentran las fuentes primarias de información relevantes, que se obtienen con base a criterios de expertos; se proyecta cual es la mejor forma de implementar la propuesta de la repartición automática y equitativa de envases, tomando en cuenta todas las limitantes con las que se contaban, la principal de ellas el espacio con que se contaba, debido a que se debía de trabajar sobre la banda de transporte la cual tiene 3.65 metros de largo y 25 cm de ancho.

## **4.3 Síntesis e implementación de la solución**

Se escoge un diseño que ocupa poco espacio en la mesa y además aprovecha los recursos respecto a cableado y tamaño de componentes utilizados para su implementación.

La repartición se da cuando se saca el frasco de la banda en la posición en que la persona esté colocada, limitando la cantidad de envases a lo repartido por el sistema.

Al ser un repartidor equitativo y repartir envases que están saliendo en serie sobre la misma posición en la banda de transporte, una forma de hacer esta

repartición es aprovechando en movimiento de la banda y solamente poner desviadores de envases sobre la mesa.

Dichos desviadores se presentan en forma de paleta en movimiento que crea una guía inclinada para sacar el envase de la banda. Al hacer pruebas sobre la misma banda de transporte, la opción de paletas desviadoras de producto es un diseño sencillo y funcional.

La implementación del proyecto se completa al concluir con las 3 etapas siguientes:

- Etapa electromecánica (parte física): esta parte consiste en las guías metálicas sobre la banda de transporte. Son 2 guías, y la repartición se da por puesto con paletas que desvían el producto, en una primera etapa hacia cada una de las guías y en una segunda etapa hacia afuera de la banda; también se incluye todos los componentes relacionados con el movimiento de las paletas que se colocan. Diseño inicial y montaje por parte del estudiante y departamento de Mantenimiento. Diseño real y construcción por parte del proveedor de la empresa

- Etapa eléctrica (parte eléctrica física): esta etapa cubre lo relacionado con las señales eléctricas que se tomaron para controlar el proceso de repartición equitativa, o sea controlar los movimientos de las paletas de la etapa anterior, también los componentes electrónicos necesarios para establecer la lógica de repartición y adquisición de datos necesarios de empaque individual (sensores contadores y determinadores de posición). Implementación por parte del estudiante.

- Etapa electrónica - digital (programación implementada): incluye todo lo relacionado con software a nivel de la PC que se diseña, la interfaz de usuario o HMI. Implementación por parte del estudiante.

## Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.

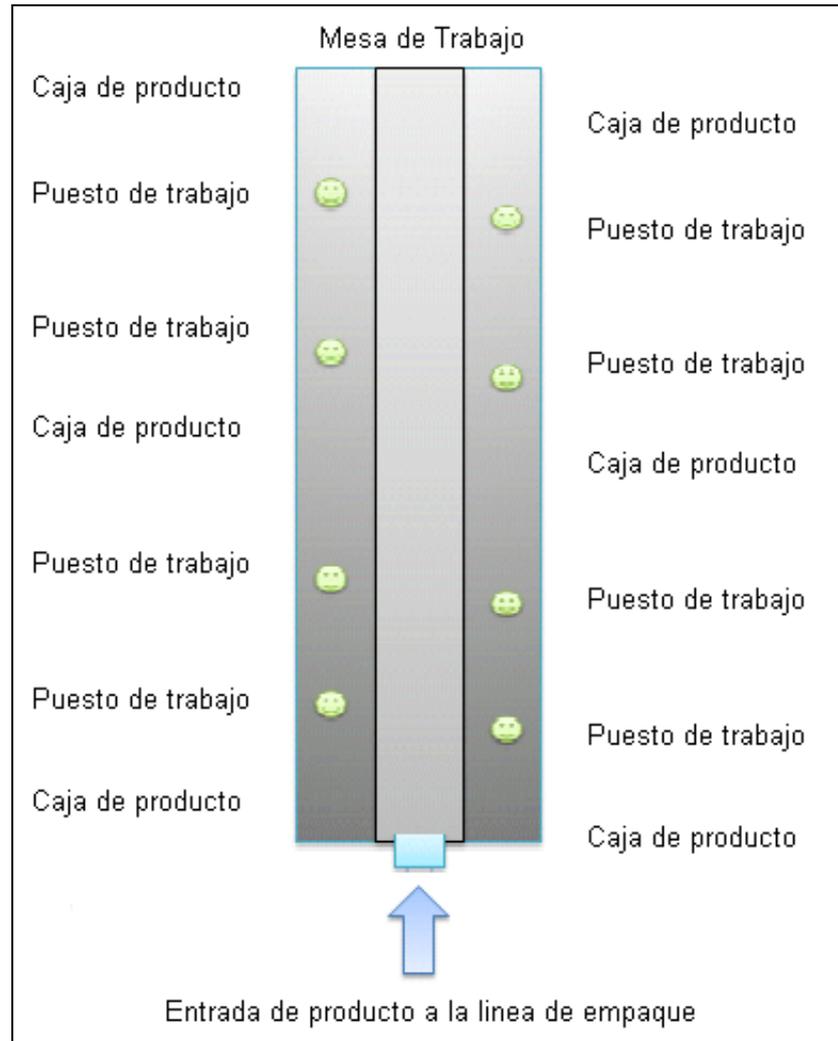
### 5.1 Espacio físico de trabajo

En la siguiente figura se muestra la mesa de trabajo.



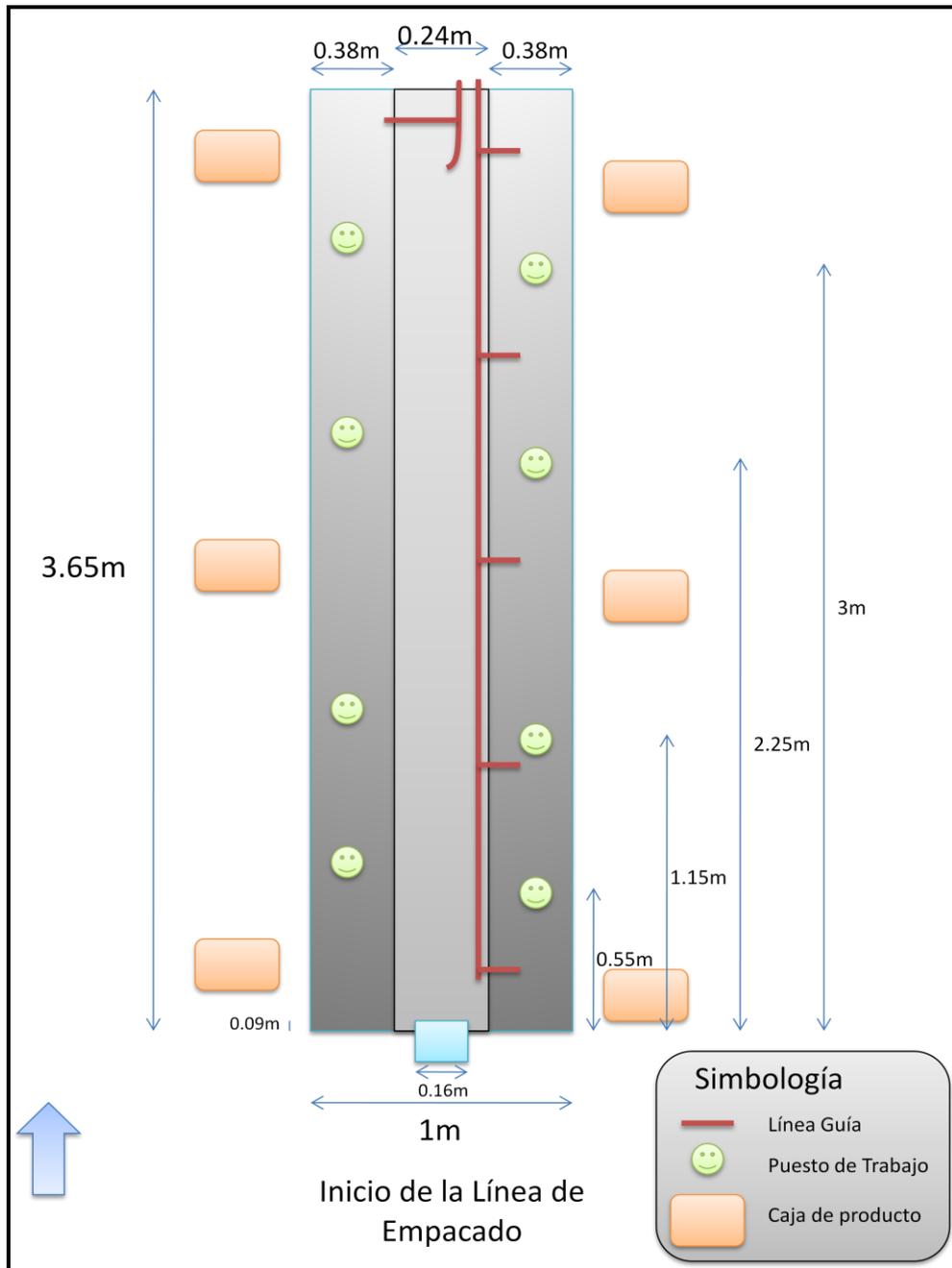
**Figura 5.1:** Mesa de trabajo.

La mesa tiene una distribución de elementos que se ha adoptado para mayor comodidad de las personas que trabajan en ella. El orden de posicionamiento de elementos en la mesa de trabajo se presenta en la siguiente figura:



**Figura 5.2:** Distribución de elementos alrededor de la mesa.

Presentadas de una manera más gráfica, para las medidas superficiales se tiene la Figura 5.3, de la cual cabe mencionar que es el aspecto que la línea tenía antes de la implementación del proyecto



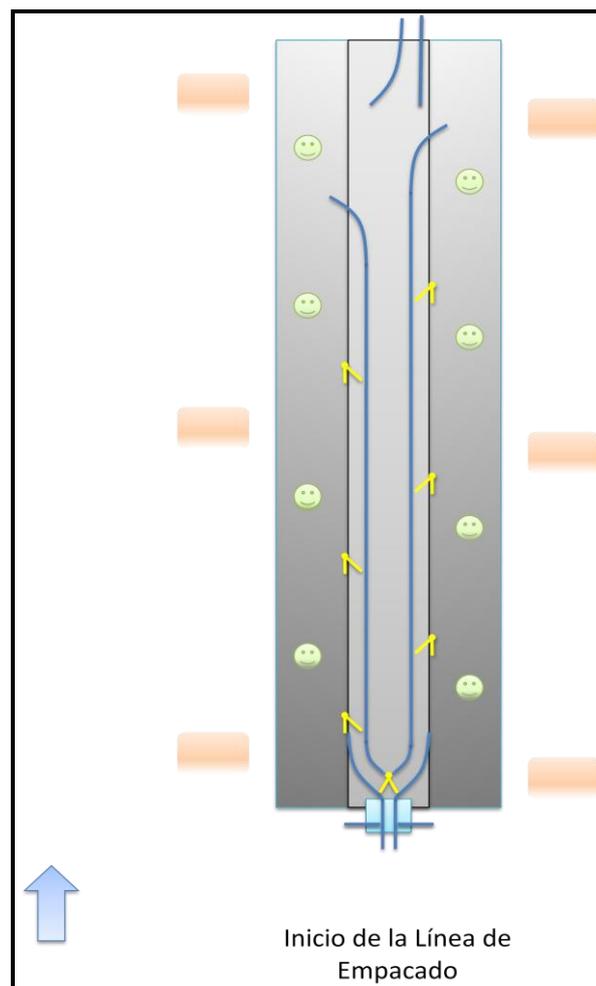
**Figura 5.3:** Medidas superficiales de la mesa de trabajo

La **línea guía** señalada en la figura cumplía la función de alinear los envases ya empacados para la siguiente etapa de la línea; que es la de verificar los códigos FARMA y de barras que deben de tener los empaques, ya que esta por poseer un lector óptico, debe de recibir todos los empaques en la misma posición para realizar una lectura visible.

Además es importante denotar la **caja de producto** en esta imagen, dichas cajas de producto lo que contienen son los cartones donde se empaacan los envases de jarabe, para que así le empacadora no ocupe más espacio del que necesita para desarrollar su función sobre la mesa; así de la caja recoge un paquete de 20 cartones y cada vez que se le agoten se vuelve a la caja para obtener más cartones. De la caja grande de corrugado se suministran cartones de empaque para 1 o 2 personas, dependiendo de la gente que esté trabajando en la línea.

## 5.2 Requisitos de la solución.

La solución implementada es la presentada en la figura 5.4:

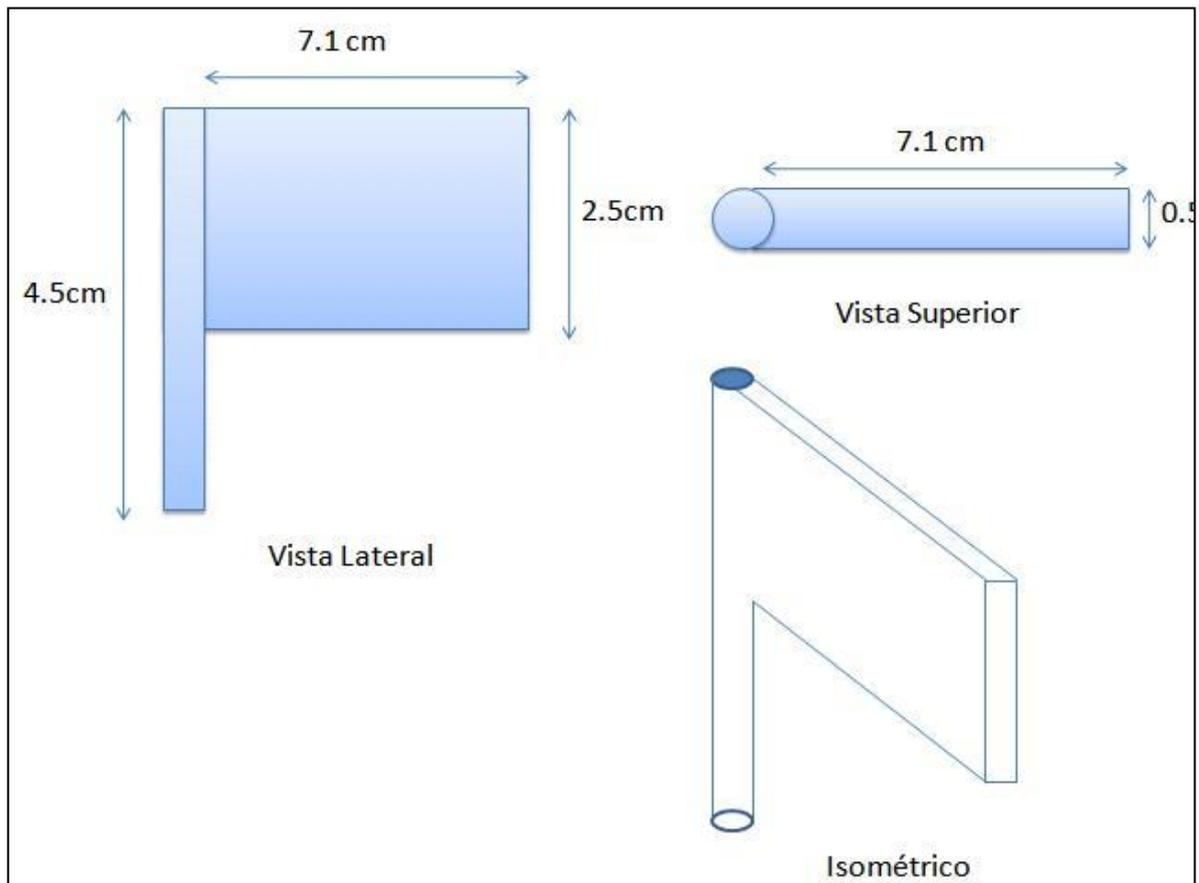


**Figura 5.4:** Guías y paletas desviadoras de la solución implementada

De los frascos que se van a trabajar, la presentación más grande es de 120ml y tiene una altura de 13 cm y la presentación más pequeña es de 15ml y con una altura de 7cm.

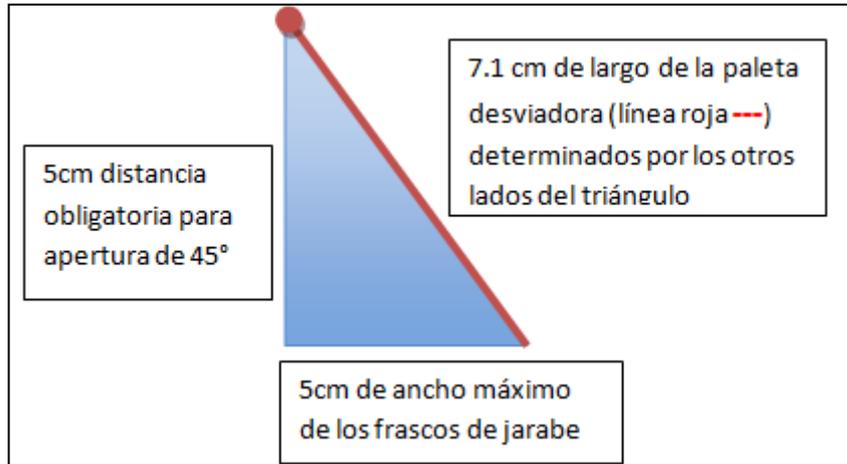
Para la paleta desviadora se determina la fuerza necesaria que debe de aplicar a los frascos para así poder tener un parámetro de escogencia del producto que se va a utilizar para hacer dicho movimiento. Así tomando en cuenta que la presentación de frasco más pequeño es de 15 ml y el más grande es de 120ml y además de esto que la densidad de los jarabes es de 1.15 g/ml, se tiene que:

Si se utiliza una paleta desviadora de las dimensiones siguientes:



**Figura 5.5:** Dimensiones paleta desviadora. Diseño inicial por parte del estudiante.

Y si se hace un triángulo con la carrera de movimiento que va a tener la paleta desviadora, basándose en la medida máxima de ancho de los envases de jarabes que es de 5 cm, se tiene que:



**Figura 5.6:** Vista superior carrera de movimiento de la paleta de acuerdo al máximo ancho de envases de jarabes.

Por lo que de acuerdo a esta figura, los envases se deben mover horizontalmente 5 cm, entonces se averigua la fuerza de aplicación:

Para el peso máximo de 120 ml:

$$\text{Masa frasco} = \text{Densidad} \times \text{Volumen} \quad (5.1)$$

$$\text{Masa} = 120 \text{ ml} \times \frac{1.15 \text{ g}}{\text{ml}}$$

$$\text{Masa} = 138 \text{ g} = 0.138 \text{ kg}$$

$$a = d \times t^2 = 0.05 \text{ m} \times 1 \times 1 = \frac{0.05 \text{ m}}{\text{s}^2} \quad (5.2)$$

$$F = m \times a = 0.138 \text{ kg} \times \frac{0.05 \text{ m}}{\text{s}^2} = 6.9 \text{ mN} \quad (5.3)$$

Para el peso mínimo de 15 ml:

$$\text{Masa frasco} = \text{Densidad} \times \text{Volumen} \quad (5.1)$$

$$\text{Masa} = 15 \text{ ml} \times \frac{1.15 \text{ g}}{\text{ml}}$$

$$\text{Masa} = 17.25 \text{ g} = 0.01725 \text{ kg}$$

$$a = d \times t^2 = 0.05 \text{ m} \times 1 \times 1 = \frac{0.05 \text{ m}}{\text{s}^2} \quad (5.2)$$

$$F = m \times a = 0.01725 \text{ kg} \times \frac{0.05 \text{ m}}{\text{s}^2} = 0.8625 \text{ mN} \quad (5.3)$$

En conclusión con un actuador que aplique 1 N de fuerza es suficiente para la aplicación.

Los aspectos que se consideran para el diseño y medidas de las guías y demás componentes metálicos que se construyen son:

- **Estandarización de puestos de trabajo:** Se define que 8 puestos es lo ideal en la mesa, por lo que cada puesto de trabajo tiene un área definida de espacio de 80 cm.

- **Marcación de espacios de trabajo:** señalización del área de trabajo.

- **Posición fija de las cajas de material:** se mantiene la misma posición debido a la distribución de los puestos de trabajo.

- **Estandarización de la repartición a lateralidad derecha:** el dispensado de producto en el área de trabajo de cada puesto es a la derecha de la persona en el puesto.

- **Acoples físicos y montaje aéreo para la paleta inicial:** al estar sobre la banda de transporte, este tiene un soporte aéreo y diseño diferente al de las demás paletas.

- **Acoples físicos de la paleta desviadora al actuador:** acoples necesarios para conectar la paleta desviadora con el actuador, la electroválvula.

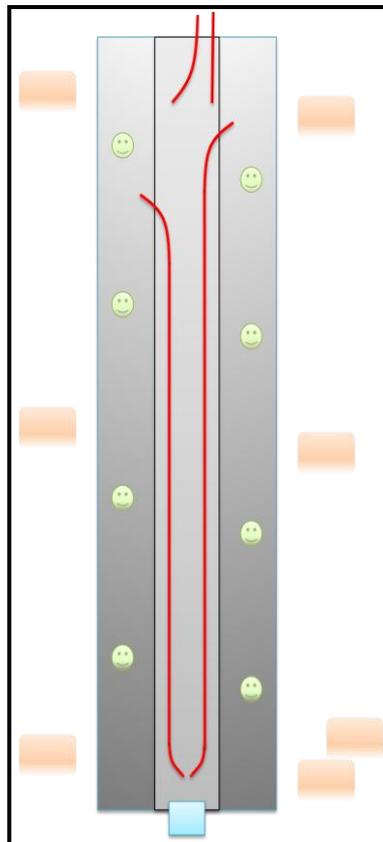
- **Fácil montaje individual del sistema de paletas desviadoras secundarias:** cada sistema paleta-actuador-electroválvula es capaz de montarse en el lugar designado (del montaje solamente la paleta esta sobre la mesa y lo demás debajo de la mesa).

- **Canales de desvío:** detallado de canales de bifurcación sobre la banda de transporte.

- **Soportes para los canales:** soportes en la mesa y aéreos respecto a la banda de transporte para el canal central.
- **Canaleta sobre el canal de desvío:** para poder distribuir a lo largo del canal central los cables que salen de los sensores de conteo individual.
- **Adaptación para montaje de sensores en los canales:** adaptación para los sensores iniciales y los contadores individuales del canal (la definición de estos sensores se da en el análisis del hardware del sistema).
- **Canal debajo de la banda para los cables de los actuadores, electroválvulas y interruptores de control de encendido de puestos:** espacio para colocar los cables y mangueras.
- **Espacio para poner interruptores de encendido del puesto de trabajo:** cerca de la paleta para no estorbar sobre el área de trabajo.
- **Área de montaje del PLC:** debajo de la mesa de trabajo para que todos los cables que le lleguen a él estén cercanos, además esto hace posible que se tenga un acceso fácil para la comunicación con el PC.
- **Estructura para montaje del encoder:**
- **Conexiones de aire y electricidad a todos los componentes del sistema.**

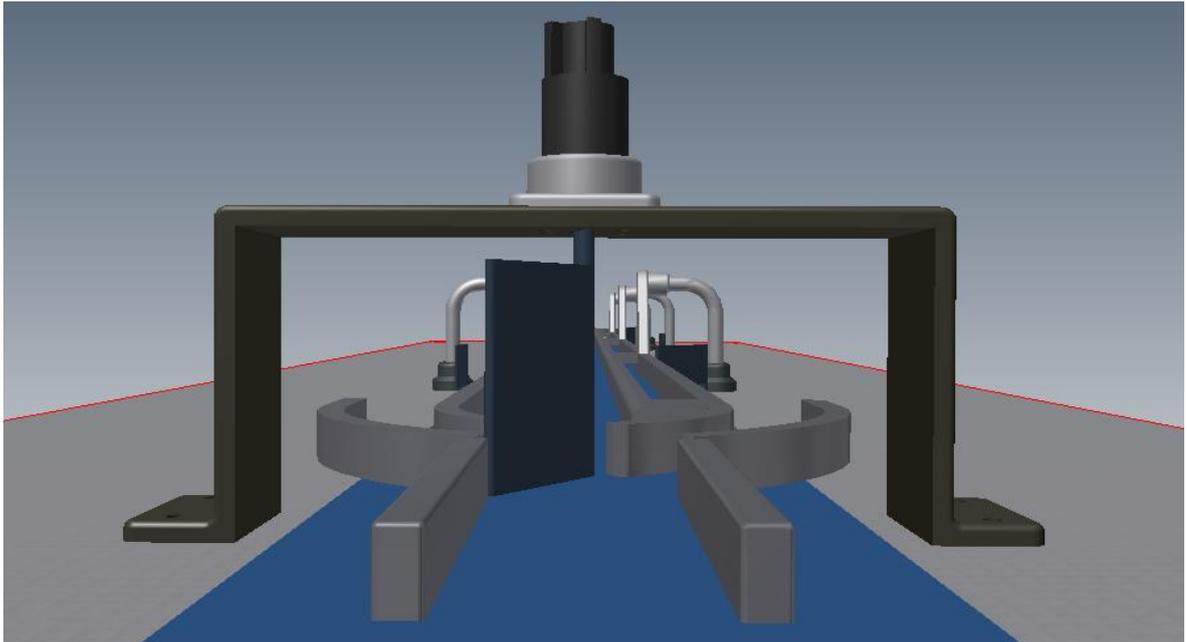
### 5.3 Descripción y análisis de la solución final.

Para llevar los envases de jarabe a cada puesto de trabajo, primero se construyen 2 guías metálicas, que desvían los envases hacia el lado derecho o izquierdo de la banda. El inicio y el final de las guías son curvadas para facilitar el movimiento del envase a través de la guía reduciendo la fricción de contacto. La imagen siguiente representa las nuevas guías implementadas sobre la banda:

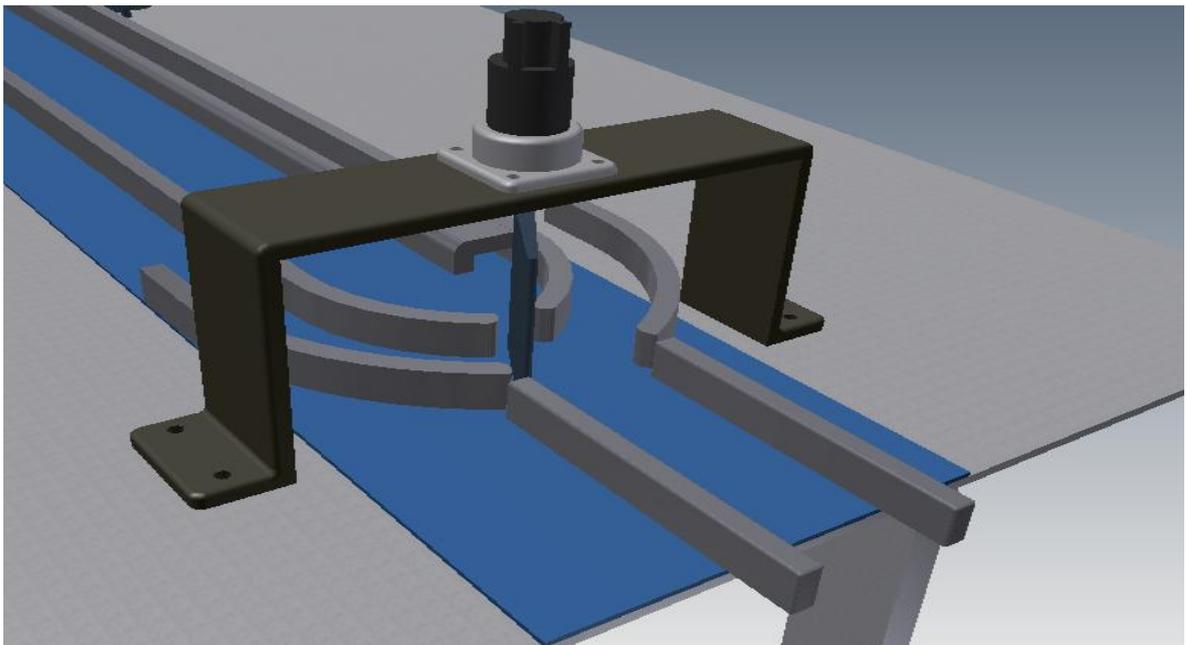


**Figura 5.7:** Nuevas guías metálicas para crear dos canales desviadores.

Los envases de jarabe se posicionan en el centro de la banda de transporte, debido a que su etapa anterior los coloca ahí, por lo que el desvío hacia el lado derecho o izquierdo de la banda se hace con una paleta y su diseño se muestra a continuación:



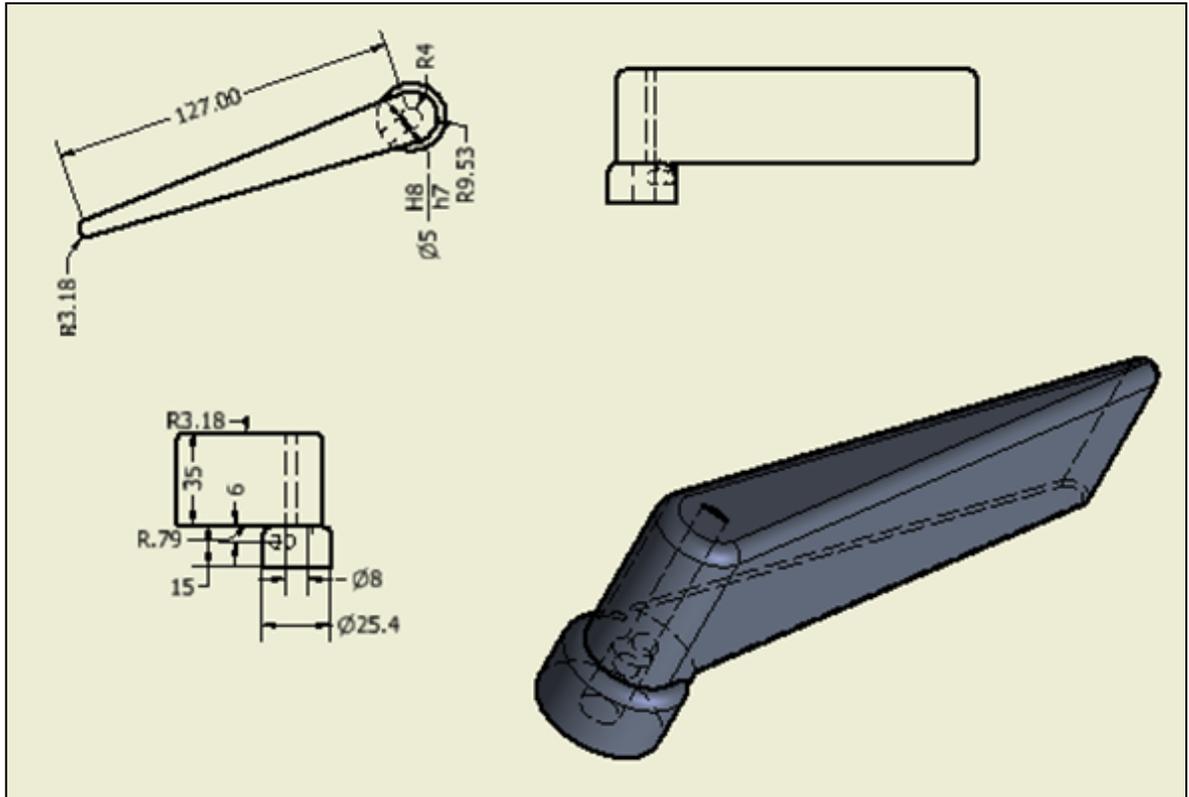
**Figura 5.8:** Diseño primera paleta desviadora, hacia la guía izquierda o derecha. Vista frontal.



**Figura 5.9:** Diseño primera paleta desviadora, hacia la guía izquierda o derecha. Vista lateral.

Las figuras 5.8 y 5.9 muestran el diseño construido por el proveedor de la empresa para realizar la función de desvío primario.

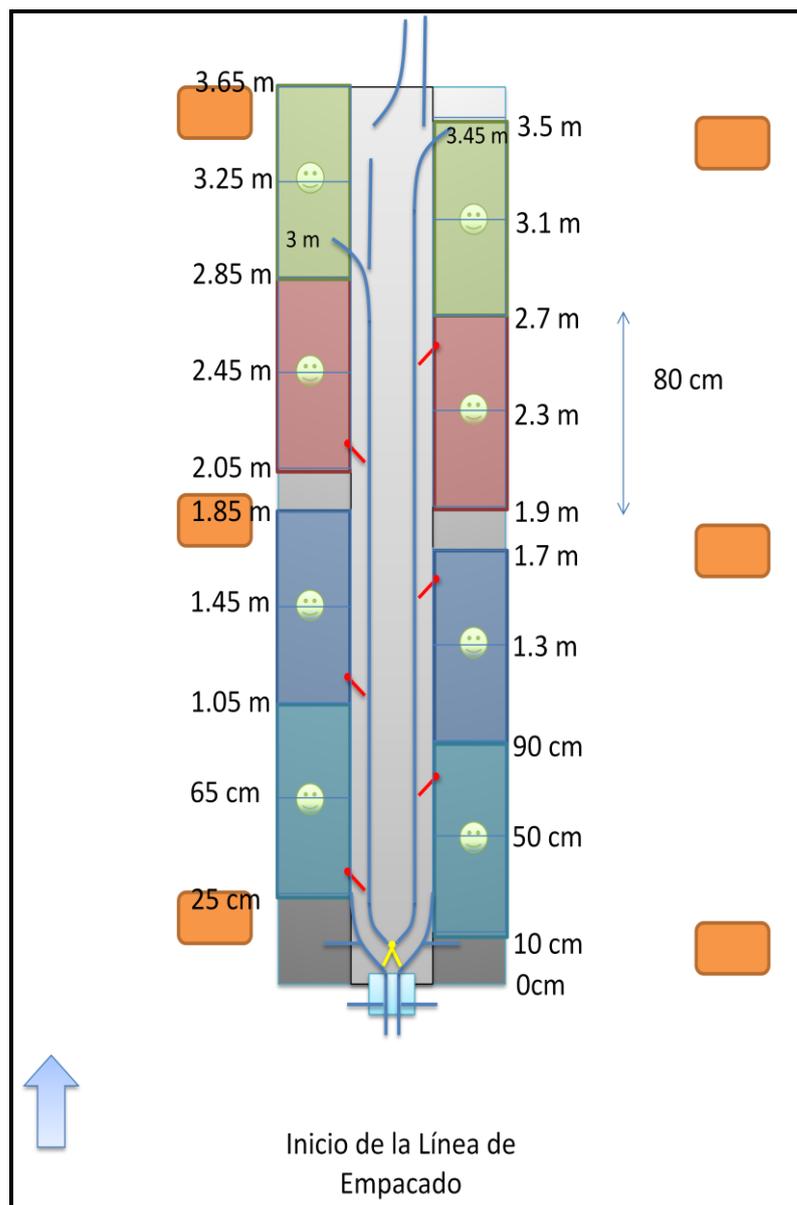
La siguiente función es la de sacar el frasco de la banda de transporte, por medio del siguiente diseño:



**Figura 5.10:** Medidas y vistas superior, laterales e isométrico de las paletas desviadoras finales.

El diseño presentado en la figura 5.10, igualmente con un diseño final y construcción por parte del proveedor de la empresa, el taller FyF, es el electo para implementar las paletas del sistema, las cuales se mueven por un extremo, se convierten en una extensión de la guía principal colocada y así desvían el envase de jarabe afuera de la banda de transporte, en la posición del puesto de trabajo.

Se especifica la posición en la mesa donde se deben colocar las paletas. Como se definen **8 puestos de trabajo en la mesa**, la distribución de espacio de cada puesto es la siguiente:



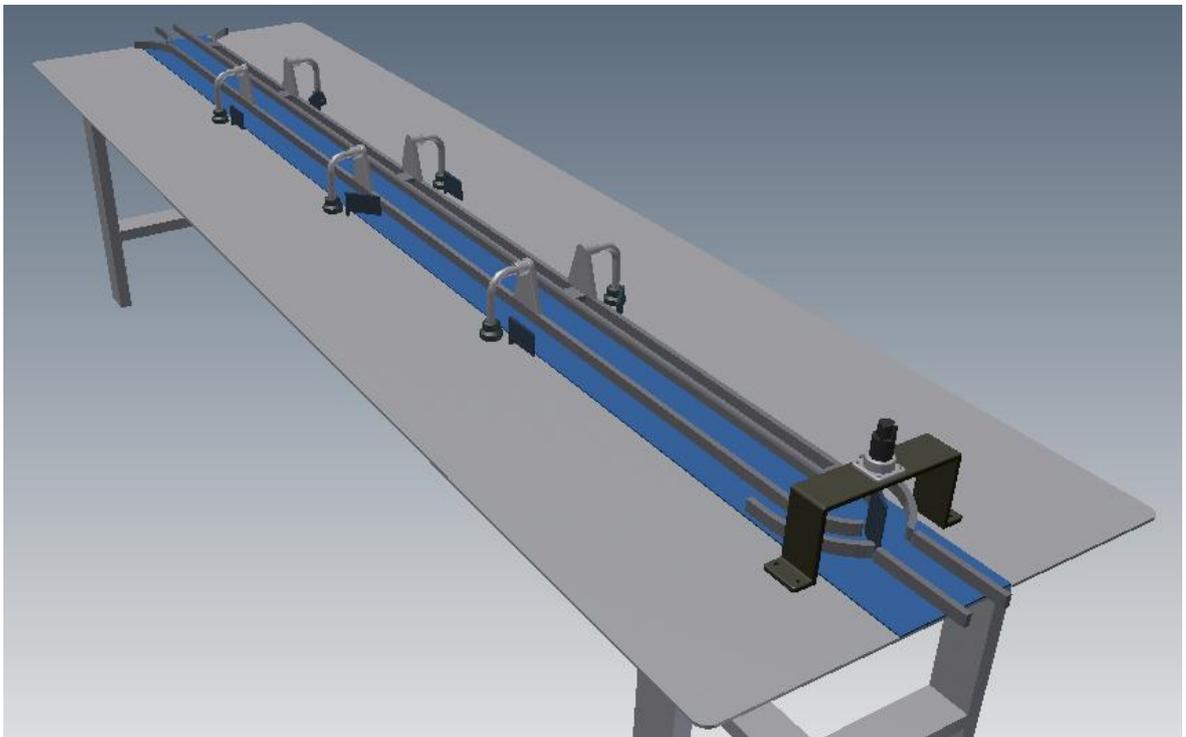
**Figura 5.11:** Medidas de límites de las aéreas efectivas de espacio de trabajo para cada persona.

Y como cada puesto debe tener una paleta (a excepción de los últimos puestos que para ahorrar en compra de materiales, se le hace la forma de curva hacia afuera de la guía para que esta cumpla con la función del desvío de envases hacia afuera de la banda), se define con estas medidas, la posición exacta en las que se colocan las paletas y los soportes aéreos que deben de tener las guías, las cuales son:

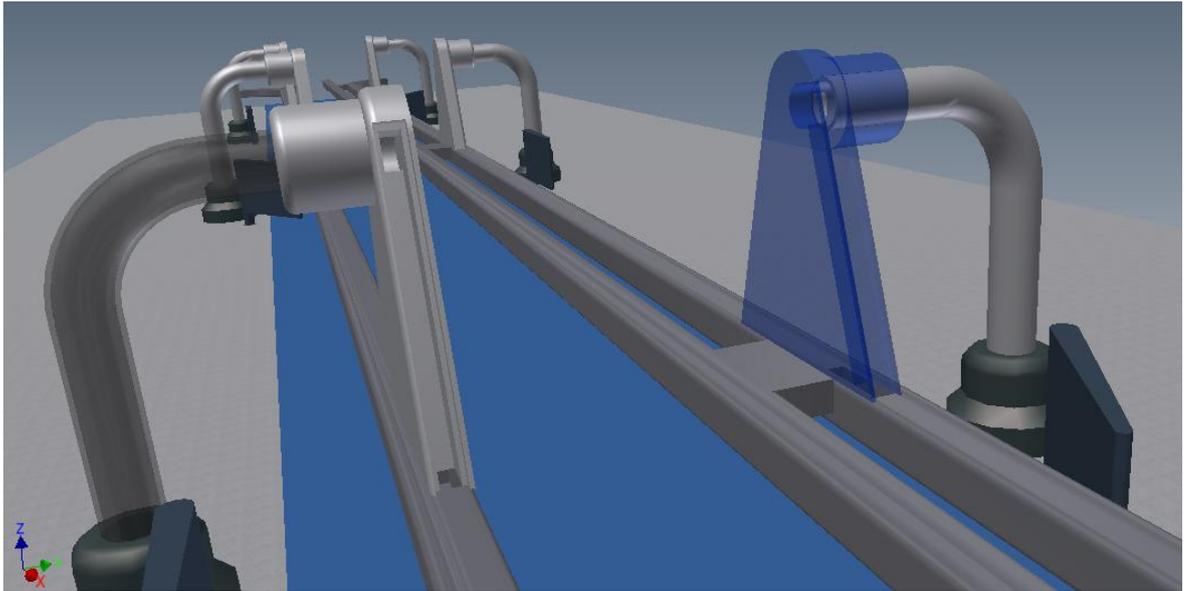
**Tabla 5.1:** Distancias de las paletas y los soportes

<i>Posición paletas</i>	<i>Posición soportes</i>
<i>Lado derecho</i>	<i>Lado derecho</i>
70cm	85 cm
1.5m	1.65 m
2.5m	2.65 m
<i>Lado Izquierdo</i>	<i>Lado izquierdo</i>
45cm	1m
1.25 m	2m
2.25m	2.8m

Tomando en cuenta que las guías mantienen la función que la guía anterior cumplía (de mantener la posición de los envases empacados igual para que vayan donde el lector de barras y se tenga una lectura visible), no se invade con elementos el centro de la banda sino solamente de las guías hacia afuera, y además se esconde todo el cableado necesario de los sensores, dentro de las guías (esta siendo de tubo hueco) para llevarlos hacia el PLC colocado en un panel posicionado debajo de la mesa de trabajo, y con los soportes de los sensores respectivos, se presenta en la figura 5.12, el diseño que cumple con todos los requisitos presentados.



**Figura 5.12:** Diseño de las guías, soportes y paletas. Vista lateral.



**Figura 5.13:** Diseño del canal interno en las guías para sondear los cables de los sensores hacia el PLC.

Y su implementación final se realizó de la siguiente manera:



**Figura 5.14:** Implementación de las guías. Modelo real.



**Figura 5.15:** Implementación de las guías. Modelo real, vista desde atrás.

Cabe destacar que en los diseños preliminares no se muestra el montaje de los sensores pero que en las vistas del modelo real se presentan como los **pequeños rectángulos** que están sobre las guías, ahí se colocan los sensores y su cableado como se especificó van por dentro de la guía, a través de los soportes, para luego bajar al lado inferior de la mesa, donde se colocan paneles pequeños para completar la primera etapa de cableado.



**Figura 5.16:** Implementación de las guías. Modelo real, vista de atrás.

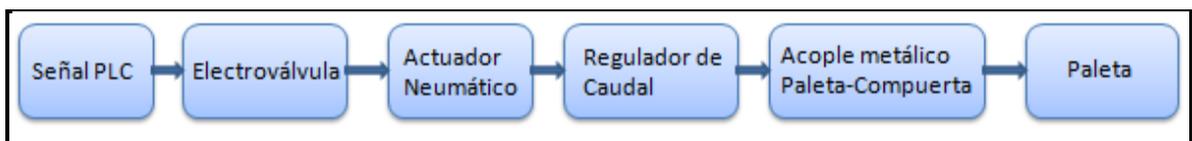
Como último detalle, la figura 5.16 representa la continuación al final de la guía del lado izquierdo, es para montar el sensor, porque se dispuso hacer todo el sistema para personas que trabajan con orientación derecha. Por esto se decide extender en línea recta la guía hasta que quedara en frente de la persona sentada en ese puesto, para colocar así el sensor, esta guía también va a contar con los canales para esconder los cables, con el detalle que a los **3m** de la mesa va a

existir una curva que desvié hacia la mano derecha de cada persona el envase de producto.

### 5.3.1 Descripción del Hardware

Con el esqueleto mecánico diseñado y construido, se define el control del movimiento que debe tener el esqueleto para crear un camino individual para cada envase que entra a la banda de transporte.

El movimiento que se da por parte de las paletas se realiza con actuadores neumáticos rotativos, los expuestos en el Capítulo 3, en la figura 3.10 y el cual como característica muy importante presenta **un giro de 45°**, junto con una electroválvula y los componentes necesarios para controlar el movimiento, como lo son algunos reguladores de caudal en caso de que se dé el movimiento muy rápido u otros inconvenientes que se puedan presentar, este movimiento sea fácil de ajustar. Importante denotar que se realiza un montaje individual de cada paleta en la mesa. El diagrama de bloques de la conexión para el movimiento de la paleta es el siguiente:



**Figura 5.17:** Diagrama de bloques conexión electroválvula-actuador-paleta.

Hay 2 diferentes montajes de paletas, el primero es el de la primer paleta desviadora. Esta paleta al ir encima de banda ocupa un puente sobre la cual montarla y hacer su conexión con el actuador, el diseño inicial se presenta en la figura 5.8 y 5.9, y su montaje implementado es el siguiente:



**Figura 5.18:** Implementación movimiento primer paleta desviadora.

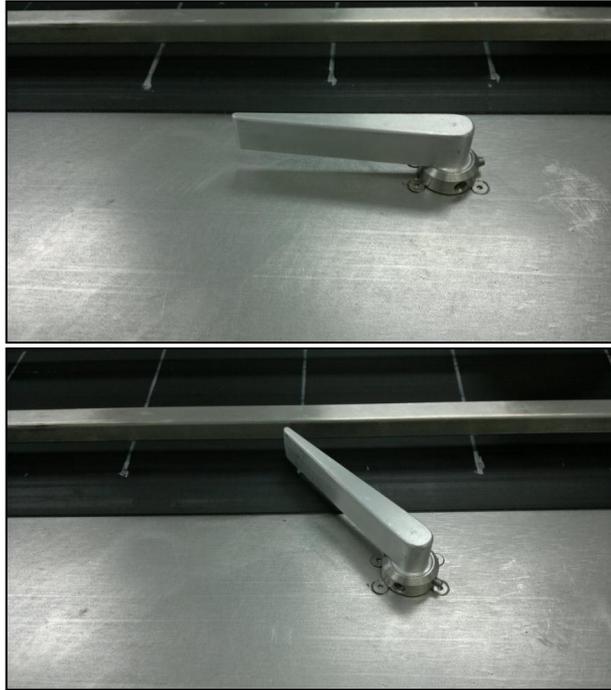
El segundo montaje es el de las paletas secundarias que van sobre la mesa, pero al cumplir con el requisito de que sobre la mesa se encuentren el mínimo de componentes, solo sobresale en la superficie de la mesa la paleta y el actuador se coloca por debajo de ella, así se cumple con dicho requisito. Su montaje respectivo se muestra en la siguiente figura, la cual muestra la vista superior e inferior de la conexión:



**Figura 5.19:** Montaje de paletas secundarias Vista superior e inferior.

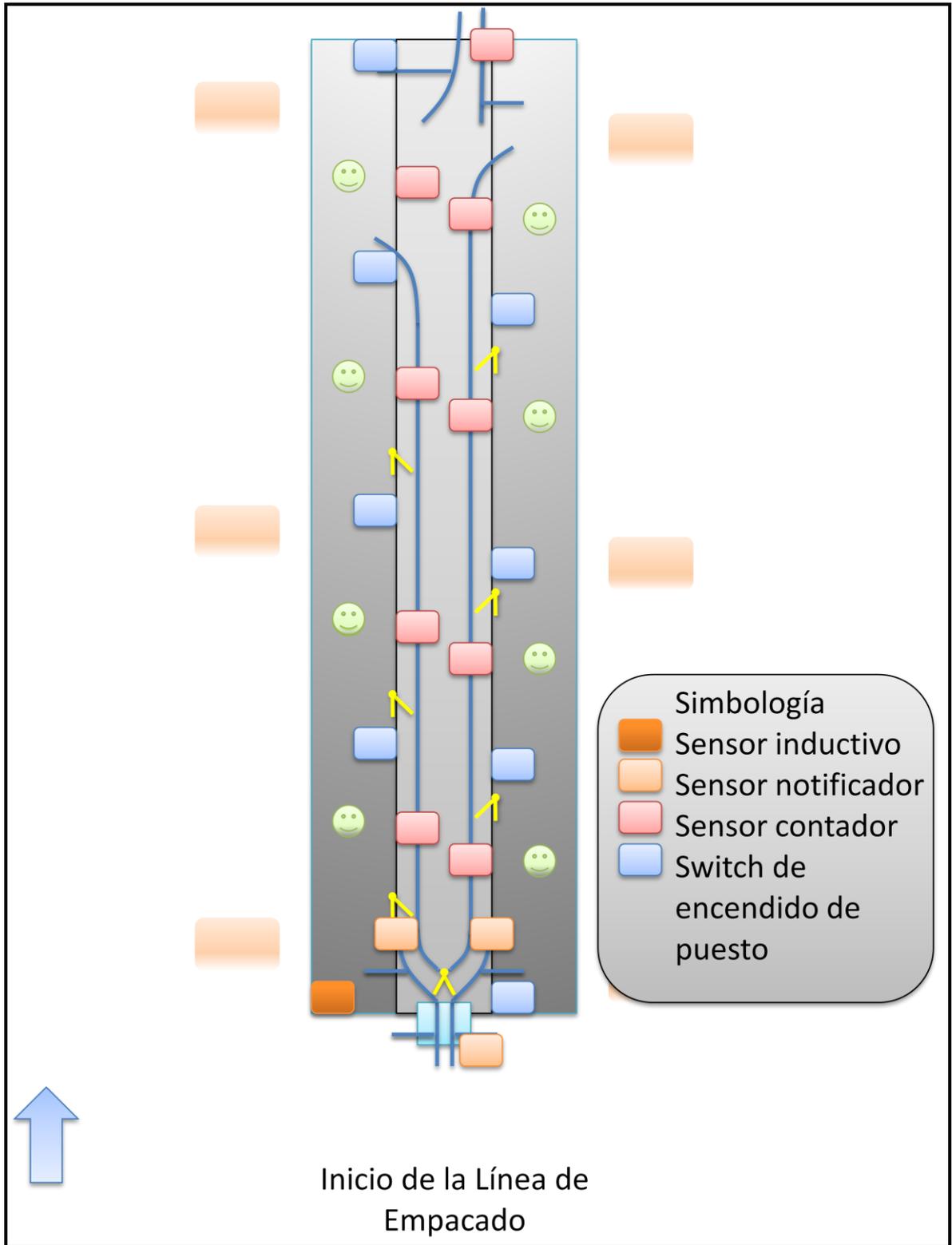
Se denota en la figura 5.18 y 5.19, las mangueras que llevan el aire que mueven el actuador neumático en su carrera de 45°, estas van conectadas a un bloque de electroválvulas colocadas en un panel al final de la mesa en su parte inferior.

Las electroválvulas son controladas por señales eléctricas, y dejan pasar aire hacia una dirección u otra, elemento el cual se conecta al actuador rotatorio, que genera el movimiento siguiente en las paletas construidas:



**Figura 5.20:** Movimiento de la paleta.

Para controlar el movimiento de las paletas se utilizan 4 sensores, 1 inductivo y 3 fotoeléctricos tipo through-beam (de ahora en adelante llamados **sensores notificadores** debido a que notifican la presencia de un envase de jarabe al ser interrumpido el haz de luz entre su emisor y receptor) y 8 interruptores. La posición de los sensores en la mesa de trabajo es la siguiente:



**Figura 5.21:** Posición de los sensores en la mesa de trabajo.

El sensor inductivo se utiliza para implementar un encoder. Se hace una rueda dentada de acero que es acoplada al reductor del motor de la banda, y se

le coloca el sensor inductivo de la manera en que se mostró en la Figura 3.8. El encoder determina cuál es la posición exacta en la que está un envase que va sobre la banda en movimiento.

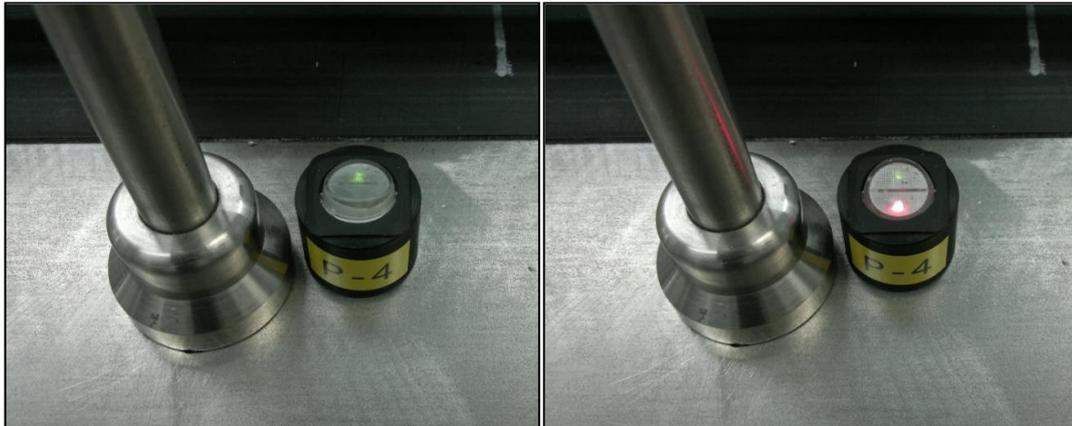
Su función es establecer una relación entre los dientes que tiene la rueda y la distancia que recorre la banda al girar la rueda 360°. La rueda posee 26 dientes, y al hacer un giro completo, la banda de transporte se mueve 28,5 cm, por lo que se obtiene una relación de **1.096 cm/diente**. Este dato toma importancia al establecer el movimiento de las paletas, porque en conjunto con los sensores notificadores, la programación establecida los utiliza para que basándose en posicionamiento del envase, se realice el movimiento de la paleta, así el envase al ingresar a la banda de transporte, se sensa para que contando el número de pasos que dé el encoder, se mueva la primer paleta cuando el envase esté a la distancia requerida para ser desviado, de acuerdo al lado al que va el envase, y en segunda instancia se ponen sensores notificadores en las guías de cada lado para que cumplan la misma función con las paletas desviadoras secundarias.

Se utilizan 3 sensores notificadores, esto por la razón de que el posicionamiento del envase solo se puede determinar cuando este se mueve en línea recta, para el primer sensado que controla el movimiento de la primer paleta no existe inconveniente, pero como luego de la primer paleta, al principio de las guías se tiene una curva, los envases no mantienen su posición en la banda, ya que por fricción se retrasan cierta distancia aleatoria, por lo que se da un nuevo sensado de notificación una vez que el envase haya sido completamente desviado y esté sobre la recta en la banda.

Los demás sensores mostrados en la figura 5.21, los sensores contadores, son fotoeléctricos, de la misma tecnología tipo through-beam, y estos están encargados de que por cada interrupción del haz de luz, se vaya aumentando incrementalmente una cuenta de un registro que se guarda en el PLC, estos serán interrumpidos cuando se dé el movimiento del trabajador de la línea a la

hora de devolver el envase empacado a la banda para seguir con lo restante del proceso.

En la siguiente figura se muestran los interruptores utilizados por puesto, los cuales cumplen su función en la lógica de repartición:



**Figura 5.22:**

Interruptor en posición ON (Luz VERDE encendida)

Interruptor en posición OFF (Luz ROJA encendida).

### **5.3.2 Descripción del Software**

Una vez presentadas las partes físicas del sistema se introduce hacia la parte de control programada del proyecto, explicando con detalle la rutina implementada en el PLC, para lograr el control del movimiento de las paletas y el cálculo de la repartición equitativa de envases.

La programación del PLC se realiza en lenguaje escalera con la guía del manual “FP-X User’s Manual” habilitado en [11] y su programación se basa en las instrucciones extraídas del “FP series Programmable Controllers Programming Manual”, ingresado en [12].

Para su mejor comprensión se presenta en las siguientes tablas los significados de las variables utilizadas.

**Tabla 5.2:** Nombre en diagramas de flujo a las entradas del PLC

Variable	Descripción
SW_ON	Encendido General
SW_L1 SW_L2 SW_L3 SW_L4 SW_R1 SW_R2 SW_R3 SW_R4	Interruptores (swtich) Izquierdos del 1 al 4 Interruptores Derechos del 1 al 4
SNBI SNIP_L SNIP_R	Sensor de Notificación del Bifurcador Inicial Sensor de Notificación Ingreso de envase IZQ Sensor de Notificación Ingreso de envase DER

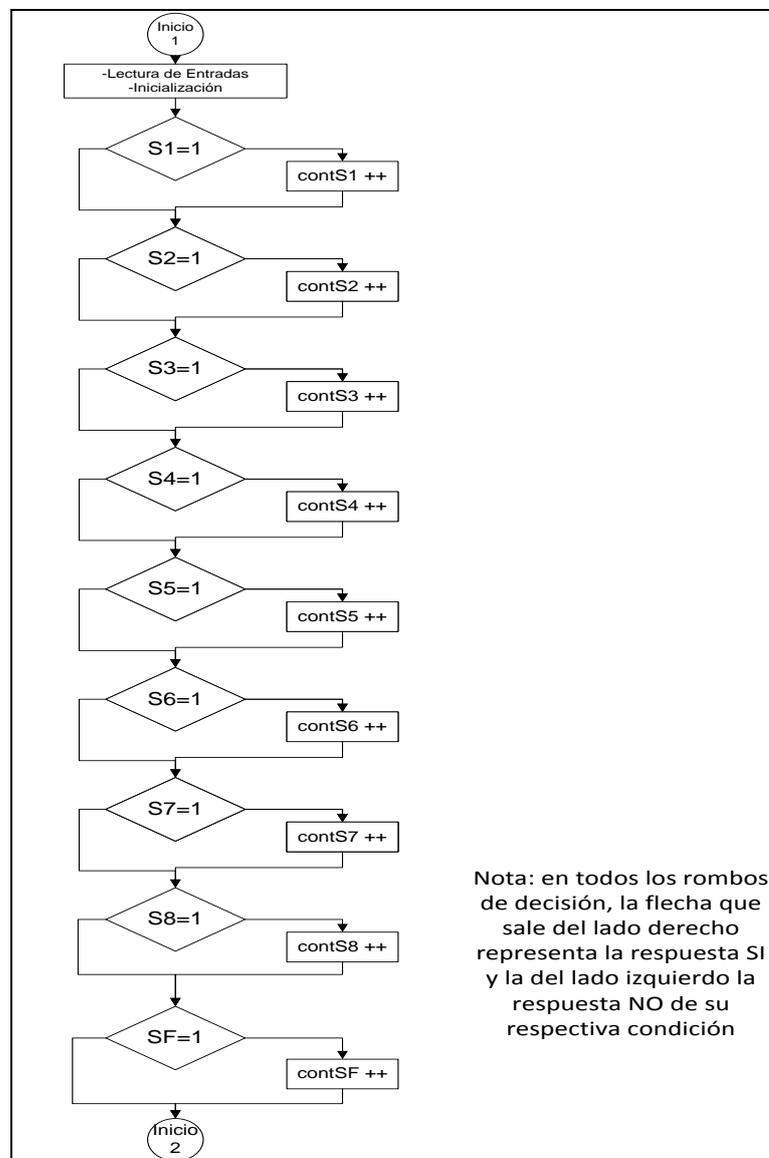
**Tabla 5.3:** Nombre en diagramas de flujo a las salidas del PLC

Variable	Descripción
OBI	(Out) Salida <b>Bifurcador o paleta</b> inicial
OB_L1 OB_L2 OB_L3 OB_R1 OB_R2 OB_R3	Out Bifurcador IZQ del 1 al 3 (solo hay 3 electroválvulas de cada lado) Out Bifurcador DER del 1 al 3
Buzzer	Alarma: Salida a buzzer: El sistema esta ON y todos los puestos están en OFF

**Tabla 5.4:** Nombre en diagramas de flujo a los registros internos del PLC

Variable	Descripción
contS1 contS2 contS3 contS4 contS5 contS6 contS7 contS8 contSF contS9	Contadores de las interrupciones que se le dan a los sensores
contL contR	Contadores de control para diferenciar caminos de los envases
cont1 cont2	Contadores de control auxiliares
DBi DB_L1 DB_L2 DB_L3 DB_R1 DB_R2 DB_R3	Distancias entre los sensores notificadores hasta las paletas, el DBi es hasta la paleta inicial y los demás su letra L o su letra R indican las paletas izquierdas o derechas.
SW_ON_L	Cantidad de interruptores encendidos del lado izquierdo
SW_ON_R	Cantidad de interruptores encendidos del lado derecho

Así para la figura 5.23, se tiene la primer parte de la programación del PLC, la cual consiste en el contador de envases empacados, esta función se realiza al notar que alguno de los haces de luz de los sensores es interrumpido. Los sensores en el diagrama se indican con el acrónimo de S1 a S8 y el SF para el sensor encargado de contar el total de envases empacados y que se coloca al final de la etapa de empaque. En el diagrama por cada interrupción que tenga el sensor (o sea cada vez que el PLC lea un 1 lógico en la entrada de la señal del sensor ejemplo S1=1), este le suma un “1” al registro que lleva el conteo de interrupciones dadas.



**Figura 5.23:** Diagrama de bloques inicial de la programación del PLC

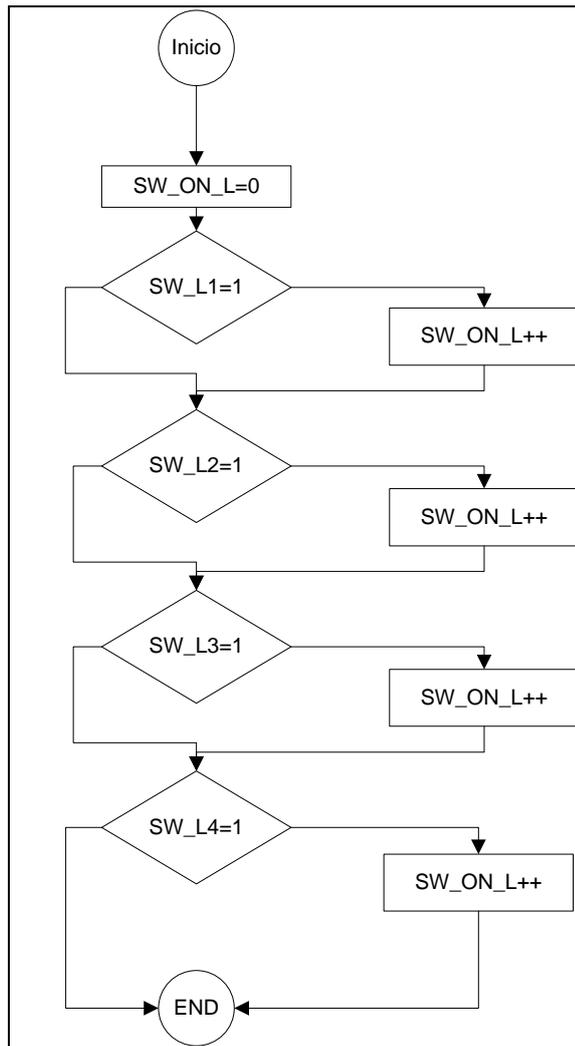
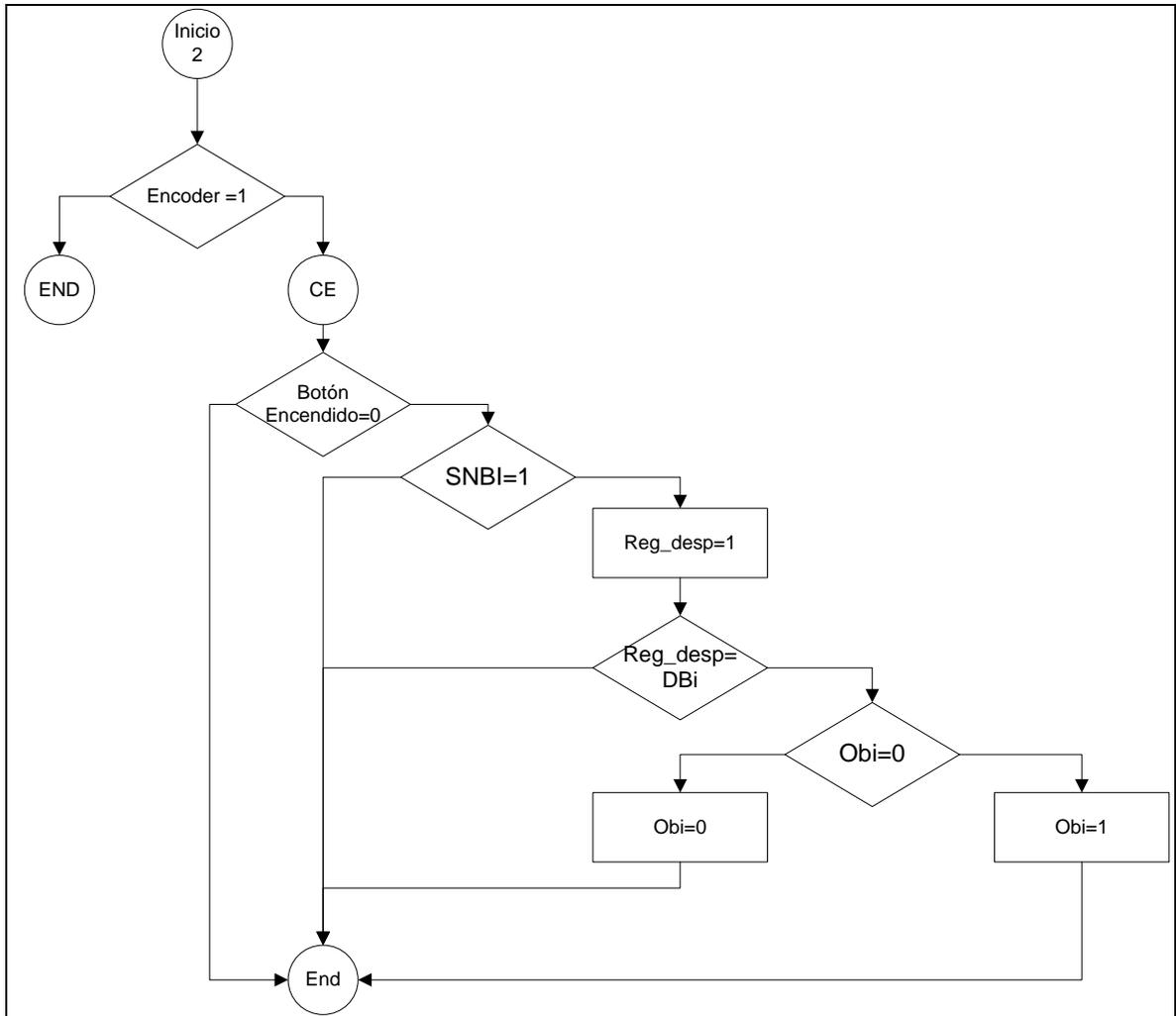


Figura 5.24: Diagrama de bloques inicial de la programación del PLC

También se hace el conteo de los interruptores **encendido de puesto**, este es el interruptor que tiene cada persona (mostrado en la figura 5.22), para decidir si se le reparte o no envase, y el diagrama de flujo de la Figura 5.24 indica la suma que se hace, la cual guarda en la variable SW\_ON\_L el valor numérico (1, 2, 3, o 4) de los puestos encendidos. Igual procedimiento se realiza para los interruptores del lado derecho de la mesa.

El siguiente diagrama, el mostrado en la figura 5.25, es la lógica encargada de mover la paleta inicial.



**Figura 5.25:** Diagrama de bloques para la repartición 50/50.

Esta paleta va a tener 2 diferentes funciones, la primera de repartir 50% de los envases de un lado y 50% de los envases del otro lado, llamado función 50/50 (repartiendo un envase a la derecha y el siguiente que viene detrás, desviado a la izquierda y así sucesivamente), esto se va a dar cuando el interruptor de SELECCIÓN, que va a ser el selector de encendido del sistema se encuentre en OFF. En esta función las paletas secundarias sobre la línea no se van a mover. En la siguiente imagen se puede ver el interruptor que se encuentra en el panel principal, mismo donde se encuentra el PLC.



**Figura 5.26:** Interruptor de Selección de Encendido del Sistema (SELECCIÓN) y Reset de Contadores del sistema en el Panel Principal del Sorteador de Envases.

De acuerdo al diagrama de bloques, lo primero que se va a hacer es correr el programa cuando se dé una señal del encoder, o sea cuando esté pasando un pin de la rueda dentada sobre el sensor inductivo, en ese momento se verifica si en SW\_ON es igual a "1" lógico (SW\_ON es la señal dada por el interruptor de selección de la figura 5.26), para seguir a la siguiente pregunta sino saltar esta subrutina. Al darse la condición anterior afirmativa, se hace nuevamente una pregunta, si el SNBi es igual a "1" lógico (donde SNBi es en sensor notificador del bifurcador o paleta inicial), este sensor indica la presencia de envase en la posición de la banda donde está colocado el sensor. Para calcular cuándo se tiene que mover la paleta se realiza el siguiente procedimiento.

Con un **registro de desplazamiento** (cualquier registro interno del PLC de 16 bits), los **pulsos de desplazamiento** dados por la conmutación de la señal del encoder de "0" lógico a "1" lógico, y un **registro fijo** con un valor preestablecido para comparar con el registro de desplazamiento, se realiza lo siguiente:

Registro de Desplazamiento 

0	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Registro fijo de comparación 

1	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Cuando recibo una señal del SNBi, coloco un “1” lógico en el bit menos significativo del registro de desplazamiento, así:

Registro de Desplazamiento 

0	0	0	0	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Cada vez que reciba un nuevo pulso de desplazamiento, se mueve un bit hacia la izquierda el registro de desplazamiento y se compara con el registro fijo.

**Tabla 5.5:** Comparación de registro de desplazamiento con registro fijo por pulso de desplazamiento.

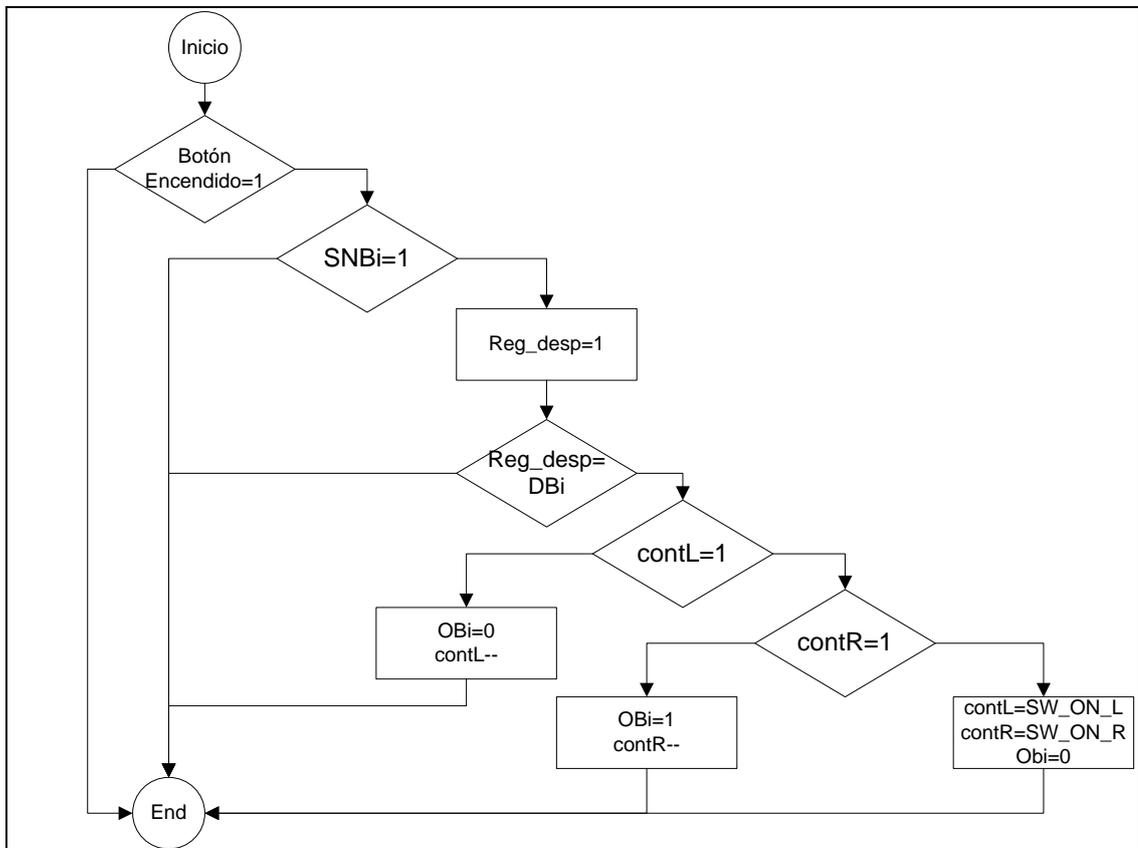
Pulso de desplazamiento	Registro de desplazamiento								Comparación con registro fijo
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Incorrecta
2	0	0	0	0	0	0	1	0	Incorrecta
3	0	0	0	0	0	1	0	0	Incorrecta
4	0	0	0	0	1	0	0	0	Incorrecta
5	0	0	0	1	0	0	0	0	Incorrecta
6	0	0	1	0	0	0	0	0	Incorrecta
7	0	1	0	0	0	0	0	0	Incorrecta
8	1	0	0	0	0	0	0	0	Igual

Y finalmente cuando la comparación del registro de desplazamiento con el registro fijo sea **igual**, se le manda la señal a la paleta que se mueva, hacia el lado derecho si estaba en el lado izquierdo o hacia el lado izquierdo si estaba en el lado derecho, esto utilizando la salida del PLC con el nombre asignado de **OBi**, esta salida va a la electroválvula que controla el movimiento de la primer paleta y se le asigna un “0” lógico para cuando desvía los envases hacia el lado derecho y “1” lógico para desviarlos al lado izquierdo.

Teniendo la relación de 1.096 cm/pin del encoder, y como por cada sensado de un pin, se mueve un bit el registro de desplazamiento, se puede decir que la relación también es 1.096 cm/**bit**, por esto es que se puede hacer que cada bit de los registros utilizados represente una posición en la banda de transporte y con un simple despeje se puede determinar posiciones de bits que deben de contener un “1” lógico en los registros fijos para calcular cualquier distancia física en la banda.

Aplicando este principio, la primer paleta está a 10 cm del sensor, por lo que despejando la relación 1.096 cm/bit, se ocupa que 9 bits delante del bit menos significativo del registro de desplazamiento, se mueva la paleta. Así este bit se coloca en el registro fijo para que cumpla la función de comparación en la posición deseada.

La segunda función mostrada en la figura 5.27, se va a dar cuando el interruptor de selección este colocado en la posición ON (como se ve en la Figura 5.26) y en esta etapa, la paleta va a dejar pasar la cantidad de envases sobre un lado de la mesa de acuerdo a los interruptores de ENCENDIDO DE PUESTO (Figura 5.22) que estén en ON e igual del otro lado (Ejemplo: si al lado izquierdo están 3 interruptores de ENCENDIDO DE PUESTO en ON, y del lado derecho 2, la paleta va a dejar pasar 3 envases hacia el lado izquierdo, luego 2 envases al lado derecho, y así sucesivamente).



**Figura 5.27:** Diagrama de bloques repartición de envases de acuerdo a interruptores de puesto en ON

Al igual que en la figura 5.25, este diagrama verifica si el botón de encendido del sistema está en ON para determinar si entra a esta etapa. Básicamente lo que se hace es determinar cuántos interruptores de puestos están en encendido de un lado de la mesa y de acuerdo a estos, se establece un registro contador con ese número y cada vez que los sensores detectan el paso de un envase disminuye la cuenta de este contador hasta que llegue a cero, cambia de posición la paleta inicial y realiza el mismo procedimiento del otro lado de la mesa.

Finalmente las rutinas instaladas en el PLC, son las rutinas de movimiento de las paletas secundarias. Estas rutinas son iguales para el lado derecho y el lado izquierdo. Para el lado derecho, que es la rutina mostrada en la imagen 5.28, lo primero que se verifica es si hay una interrupción del haz de luz del SNIP\_R (sensor notificador de ingreso de producto o envase a la línea recta de la guía derecha), este indica la presencia de envase. Lo que se hace a continuación es “etiquetar” el envase hacia cual puesto de trabajo va, de acuerdo a los puestos que estén activados, esto con la ayuda del contador **cont1**. Este contador va a inicializarse en 1. Se tienen 4 puestos de trabajo, 3 con paletas desviadoras y 1 con la curva en la guía para que se desvíe el envase de jarabe, así que manteniendo los recursos de programación utilizados anteriormente, se van a utilizar registros de desplazamiento para cada paleta y para el final de la guía, colocada en el último puesto de trabajo de la mesa, para control.

Iniciando el programa se preguntará si cont1 es igual a “1”, si es falso, se irá a la pregunta de que si cont1 es igual a “2”, y si la condición es verdadera, se seguirá a la pregunta de que si el interruptor del puesto 1 esta encendido ( $\zeta$ SW\_R1 =”1”?), esto debido a que si está APAGADO, a este puesto NO se le debe de repartir envase, por lo que se le sumaría “1” unidad al cont1 y se iría de nuevo a la pregunta de que si cont1=”2” para verificar el segundo puesto. En el caso en que cont1 sea igual a “1” y el interruptor SW\_R1 esté encendido, se le va a asignar al registro de desplazamiento un bit en alto en la posición del bit menos significativo, para hacer el mismo procedimiento de desplazamiento y comparación explicados anteriormente. De igual manera se calcula la cantidad de

bits que se ocupan para cubrir las distancias de las paletas, datos que se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 5.6:** Número de bits de acuerdo a distancia del sensor a la paleta en el lado derecho de la banda

Paleta	Distancia del SNIP_R a paleta [cm]	Bits de acuerdo a relación del encoder
1	32	29
2	112	102
3	212	193

**Tabla 5.7:** Número de bits de acuerdo a distancia del sensor a la paleta en el lado izquierdo de la banda

Paleta	Distancia del SNIP_L a paleta [cm]	Bits de acuerdo a relación del encoder
1	85	77
2	165	150
3	265	241

Una vez que la comparación es correcta, se mueve la paleta, para crear una extensión de guía y desviar el producto hacia el puesto de trabajo indicado. El funcionamiento de la lógica del PLC y los registros de desplazamiento, pueden llevar información de varios envases sobre el mismo registro.

Este procedimiento es el mismo que se cumple para cuando la condición de verificación es  $cont1="2"$ , y  $cont1="3"$ , para el  $cont1="4"$ , existe la diferencia de que como no hay paleta que mover, sí se registra el dato en un registro de desplazamiento, pero no se realiza ninguna acción física, sino que solamente se deja pasar el envase a través de toda la guía.

Sintetizando, primero se identifican los puestos que estén activados, de acuerdo a este dato, se van a mandar misma cantidad de envases sobre la guía del lado respectivo, desviados por la paleta colocada al inicio de las guías. Cada envase va a ser mandado al puesto de trabajo respectivo, siendo colocada en el puesto debido por un contador que se va a encargar de decidir a cual registro de desplazamiento se le pone el bit menos significativo en alto y siempre tomando en

cuenta cuales puestos están activos, así si un puesto está apagado, lo que hace el programa es ignorarlo y seguir testeando el siguiente puesto para colocar así todos los envases que le llegan al lado respectivo, equitativamente.

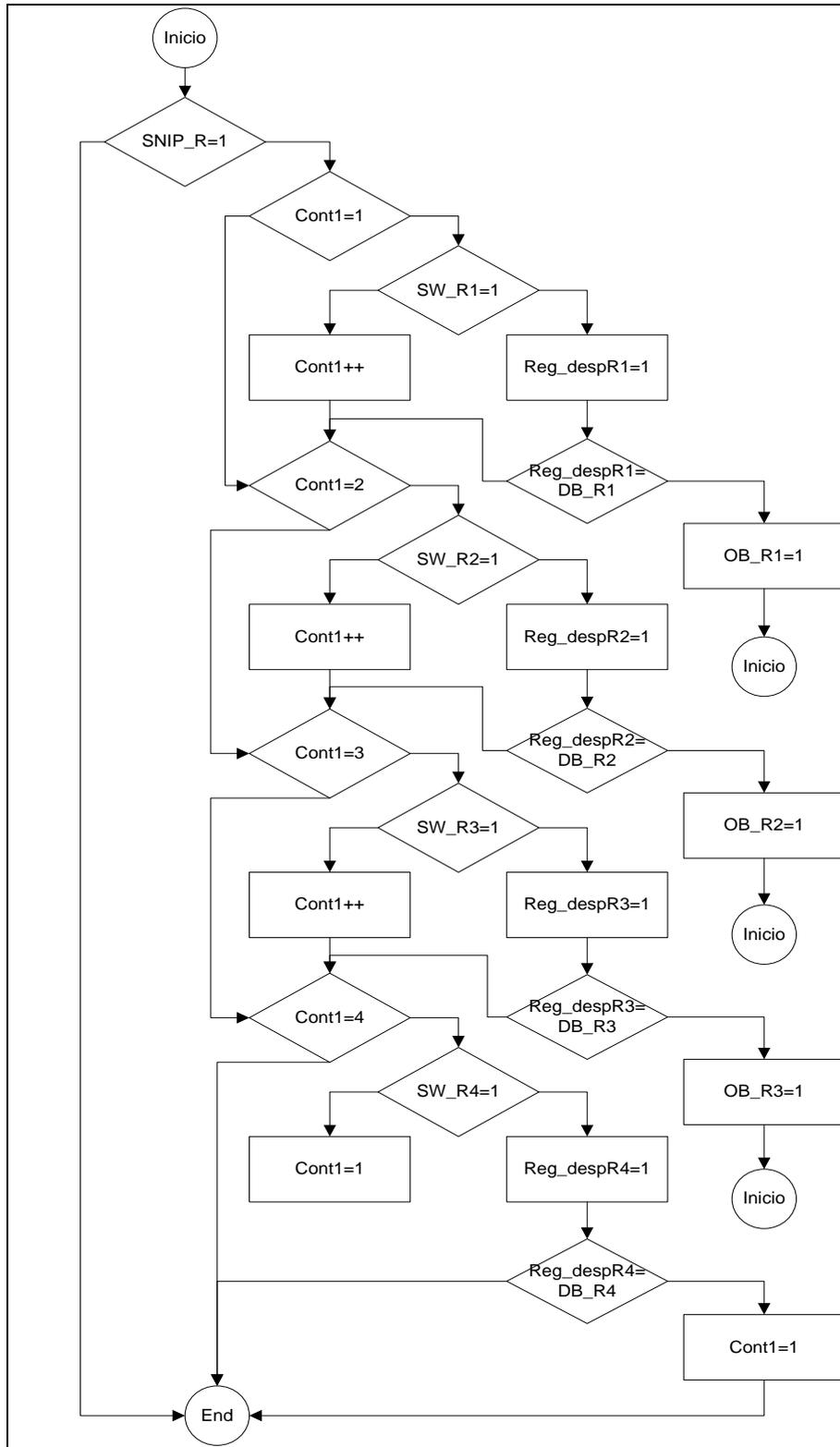
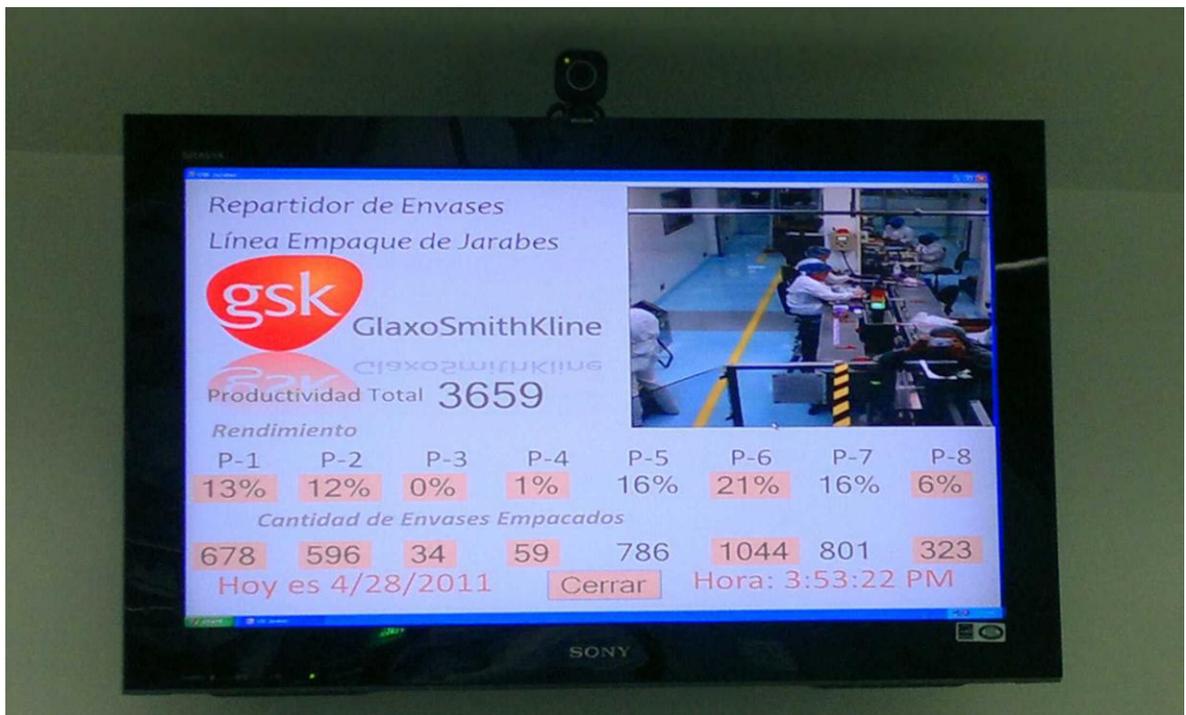


Figura 5.28: Diagrama de bloques para la repartición equitativa sobre la guía derecha.

El software a nivel de la PC desarrollado representa la visualización de la información que se está recolectando en el PLC, y además es la herramienta que monitorea y crea una base de datos accesible para los estudios estadísticos requeridos en la empresa.

Se presenta la pantalla en funcionamiento con la interfaz diseñada para la monitorización de la línea (Figura 5.29)



**Figura 5.29:** Interfaz de software a nivel de PC.

Esta etapa del proyecto se basó en dos grandes aspectos, el primero de ellos fue establecer la comunicación vía USB con el PLC, para poder extraer los datos que se estaban manejando en este y poder manipularlos con mayor facilidad a nivel de la PC, y el segundo aspecto fue el desarrollo de la interfaz gráfica para mostrar en la pantalla para dicho fin.

Esta interfaz se compone de la monitorización vía webcam de la línea, y además muestra los datos que cada persona está teniendo en el desarrollo de la

jornada laboral, así se muestran los datos de cantidad de envases empacados (registros de cuenta llevados en el PLC, con la ayuda de los sensores colocados en las guías metálicas sobre la banda de transporte) y efectividad porcentual respecto a la línea en general, de cada persona, para finalizar con la muestra del dato de cantidad total de envases empacados por todas las personas y la creación de una hoja en EXCEL, con las estadísticas individuales y generales de los trabajadores de la línea por turno de trabajo.

Se usa el entorno de desarrollo Visual Studio 2005 y su aprendizaje y utilización de herramientas se basa en [13] y [14], y de las ayudas en línea de Microsoft [15].

Visual Basic es un lenguaje el cual tiene la ventaja de que es ideal para la creación de interfaces debido a su gran cantidad de herramientas y la facilidad de su uso e implementación.

A pesar de que no es un lenguaje estudiado en la carrera, se determina que es el lenguaje de alto nivel ideal para el desarrollo de lo proyectado en la solución, debido a consulta a profesionales en el campo de la Ingeniería en Sistemas.

El entorno de desarrollo le permite al programador con un simple arrastre de elementos ir creando de una manera sencilla y estética la interfaz que se desee, y para funciones de más alto nivel la ayuda que se provee en línea es basta como para completar cualquier tipo de tarea.

El software implementado consta de una única pantalla, la cual contendrá los elementos de visión de una cámara web, datos estadísticos de la línea, hora y fecha, todos estos elementos refrescados en tiempo real.



**Figura 5.30:** Boceto de la interfaz de software a nivel de PC

Subrutinas programadas a nivel el software de la PC.

- frmPrincipal\_Load

Subrutina encargada de la extracción de la información de la webcam y despliegue en el área escogida para ello (esquina superior derecha del área de trabajo, Figura 5.30). Se utiliza la librería *Webcam()*, la cual con su comando *.star()*, inicializa y establece la comunicación con cualquier webcam conectada a los puertos de la PC.

En esta misma subrutina se crea o verifica si existe la carpeta "C:\GSK - Jarabes", sino existe, la crea y si existe, la abre para que dentro de la carpeta se inicialice y se empiece a llenar el archivo de EXCEL que será utilizado para guardar la estadística de la línea de producción. En esta sección, crea el objeto EXCEL, le pone los títulos de los encabezados de las columnas y filas por llenar, además le asigna un nombre único al archivo EXCEL, para que mientras no se salga del programa todos los datos se guarden en el mismo archivo, esto para diferenciar los archivos por turno.

- EnviarPLC

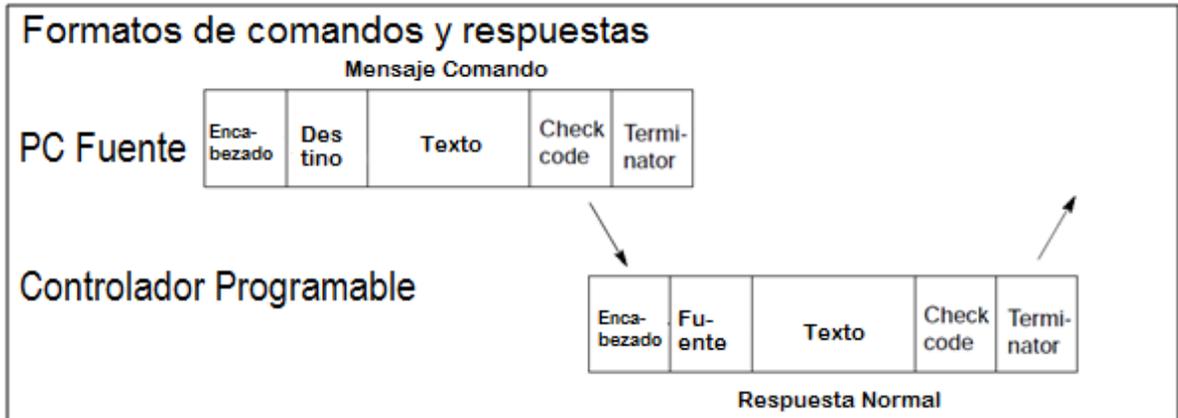
Pequeña rutina la cual recibe una cadena de información y establece los parámetros para la apertura del puerto serie de la PC para enviar dicha información al PLC. Como se comentó anteriormente este es un protocolo establecido por la PANASONIC, que se basa en pregunta del usuario y respuesta por parte del PLC, así que esta rutina es la encargada de hacer la pregunta. Los parámetros de apertura del puerto son:

- Puerto COM3 (seleccionado por la misma PC al conectar el PLC)
- 115200 bps (máxima velocidad del USB permitida)
- 8 bits de datos
- 1 stop bit
- Paridad tipo ODD
- Carácter de retorno o delimitador de trama "C<sub>R</sub>"

Luego de establecer los parámetros, se verifica si el puerto está cerrado para abrirlo, e inmediatamente manda la pregunta al PLC, que en este caso serian los comandos creados en la subrutina tmrTimer\_Tick, presentados a continuación.

- tmrTimer\_Tick

Esta subrutina está encargada de crear los comandos de pregunta, igualmente establecidos por la PANASONIC en su protocolo MEWTOCOL. Es la función de un TIMER debido a que se programa que cada 10 segundos se ejecute. Los comandos se basan en una trama de datos de la siguiente forma:



**Figura 5.31:** Formatos de trama de comandos de pregunta y respuesta, protocolo Mewtocol [17]

El dato por enviar en este caso es: `%01#RDD0010000108** + Chr(13)`

El cual indica con sus variables lo siguiente:

- %: encabezado de la trama
- 01: número de PLC destino de lectura
- #RD: Lectura de área de datos (read data area)
- D0010000108: Lectura de los registros 100 al 108.
- \*\*: Chequeo de envío
- Chr(13) : Delimitador de la trama "C<sub>R</sub>". Código ASCII para salto de línea

Además de hacer la lectura de dichos registros, se lee también el estado de los interruptores de encendido de puesto, esto para marcar en la pantalla si el puesto esta encendido o apagado. Así, si el interruptor del puesto de trabajo está apagado, el fondo donde aparece la estadística del puesto se torna de un color papaya, como el apreciado en la Figura 5.39, donde solamente los puestos 5 y 7 están encendidos. Finalmente esta rutina es la encargada de refrescar cada 10 segundos en la pantalla los valores de producto empacado individual, efectividad general y total de productos empacados en la línea.

- SerialPort1\_DataReceived

Parte de esta función ya implementada del lenguaje Visual Basic, se encarga de detectar cuando algo entra por el puerto serie con el que se está trabajando. Como complemento se separa la trama y se convierte a datos procesables en el editor.

- tmrCamara\_Tick

Subrutina encargada cargar la imagen de la cámara cada segundo. Además de esto, también refresca el reloj que muestra la fecha y hora en la pantalla y establece el color del fondo de los datos de acuerdo a si el botón de encendido de puesto esta en “ON” o en “OFF”.

- tmrGuardar\_Tick

Se utiliza otro “TIMER”, con un lapso de 30 segundos. En cada intervalo de tiempo lo que va a hacer es guardar el dato que se esté dando en los registros de conteo de empaque individual y empacado total de la línea en el archivo EXCEL creado para el estudio estadístico de la línea.

- Button1\_Click

Esta es una pequeña rutina que hace que se cierre el programa cuando se presiona el botón “Cerrar” colocado en el centro inferior de la pantalla. Este botón se creó principalmente porque la PC está alejada de la pantalla, por lo que a la hora de cerrar el programa se dificulta encontrar el botón que trae por defecto las pantallas en Windows, por su lejanía y pequeño tamaño, así que este botón cubre esa función con una mejor visualización.

## **Capítulo 6: Análisis de Resultados**

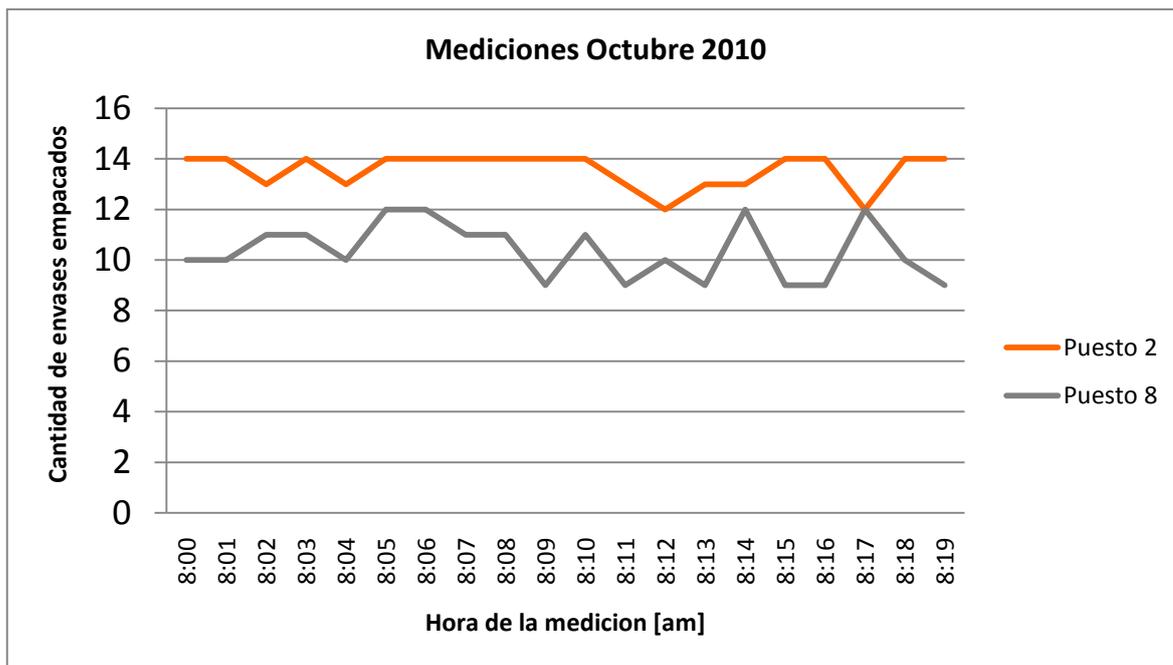
Al ser un proyecto orientado al bienestar de las personas y basarse en la repartición equitativa de producto para igualar las cargas de trabajo, se realizan las pruebas para demostrar su funcionamiento y determinar la comparación numérica entre las cargas de trabajo antes y después de la implementación del proyecto.

### **Observaciones a la eficiencia de la línea:**

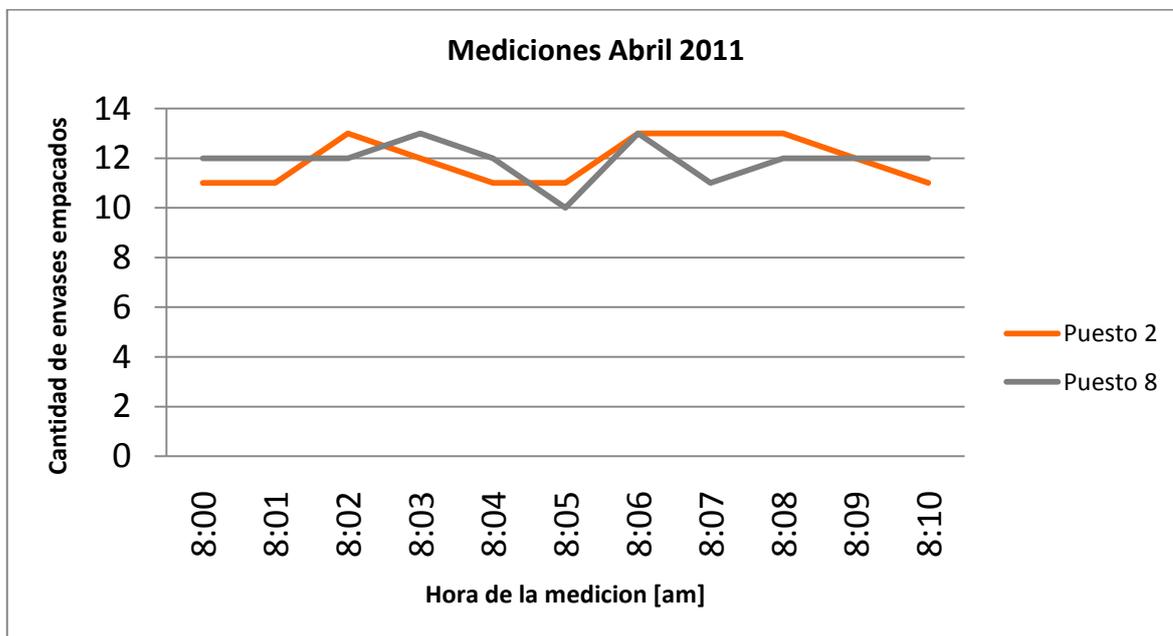
La siguiente medición se hizo a inicios de la etapa del proyecto, para obtener un promedio de la efectividad de la persona que trabaja en el primer puesto comparada con una de las personas que trabaja en puestos posteriores. Los puestos de trabajo asignados para esta toma de mediciones fueron el puesto número 2 y el puesto número 8, según la figura A.4.1. Cabe destacar que no se toma en cuenta la habilidad de la persona y que las tomas se hacen a las mismas horas para no afectar la fidelidad de las comparaciones.

Para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto entrando a la banda de transporte y trabajando 6 personas en la mesa se obtienen el gráfico de la figura 6.1, tomando los datos en octubre del 2010 y de la figura 6.2, tomando los datos en abril del 2011. Tomar en cuenta que la presentación trabajada incluye circular y gotero por lo que el tiempo de empaque es mayor.

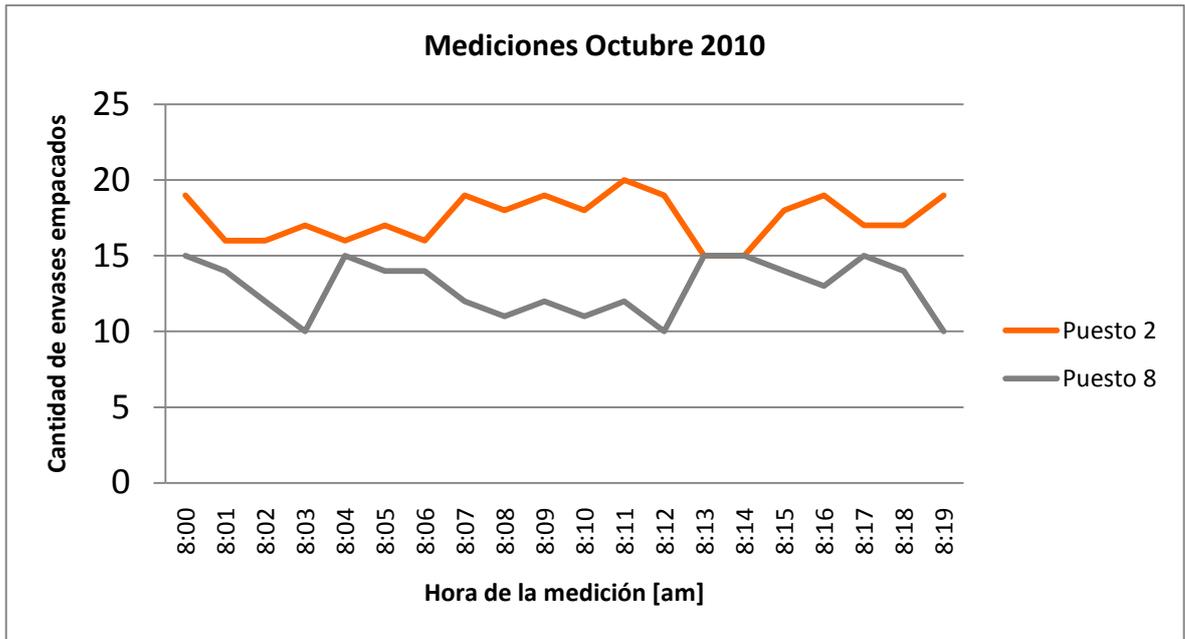
De igual manera se toman las mediciones para la presentación de 60 ml con una producción de 60 envases por minuto entrando a la banda de transporte, y con 4 personas empacando envases. Dicha presentación no lleva adicionales en su empaque y las medidas representativas también se toman en octubre del 2010 para la figura 6.3 y en abril del 2011 para la figura 6.4.



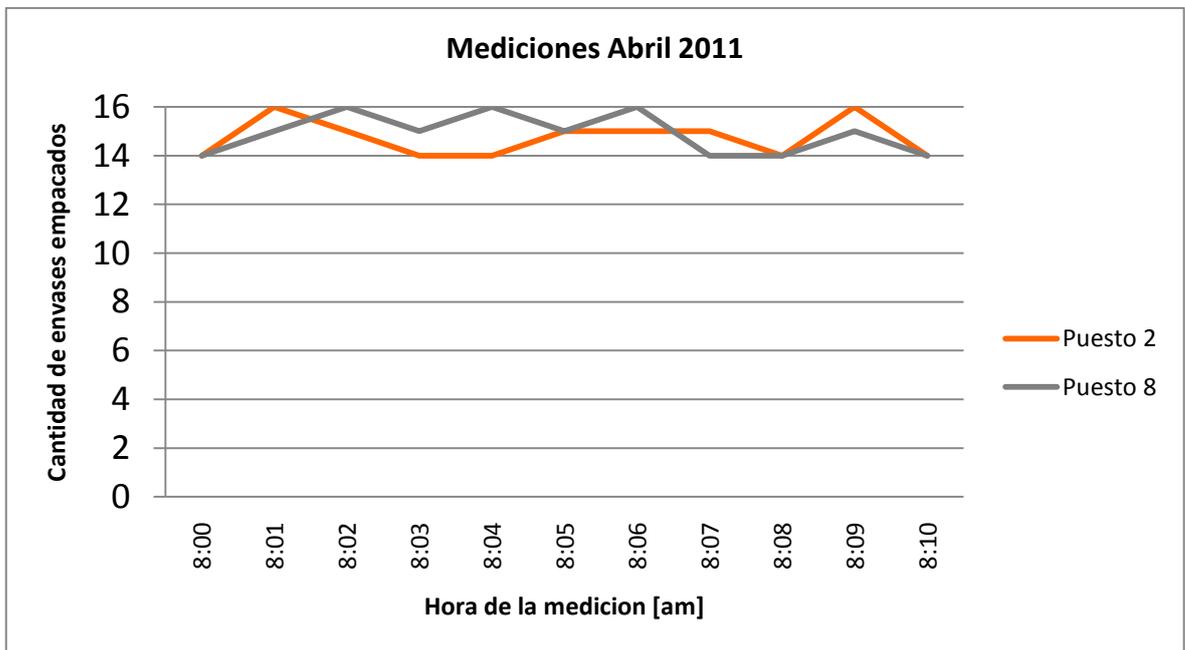
**Figura 6.1:** Mediciones de cantidad de envases empacados en Octubre del 2010, para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto y 6 personas trabajando en la línea. Promedio ideal 12 envases por minuto. Promedio real 10,85 envases por minuto



**Figura 6.2:** Mediciones de cantidad de envases empacados en Abril del 2011, para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto y 6 personas trabajando en la línea. Promedio ideal 12 envases por minuto. Promedio real 12 envases por minuto.



**Figura 6.3:** Mediciones de cantidad de envases empacados en Octubre del 2010, para la presentación de 60 ml, con una producción de 60 envases por minuto y 4 personas trabajando en la línea. Promedio ideal 15 envases por minuto. Promedio real 12,9 envases por minuto



**Figura 6.4:** Mediciones de cantidad de envases empacados en Abril del 2011, para la presentación de 60 ml, con una producción de 60 envases por minuto y 4 personas trabajando en la línea. Promedio ideal 15 envases por minuto. Promedio real 15 envases por minuto.

De acuerdo a las figuras anteriores se puede calcular un estimado del tiempo muerto que están teniendo las personas, tomando en cuenta que las mediciones son una muestra representativa.

Se ocupan los valores de velocidad máxima y mínima de empaque que se está teniendo en la producción de las presentaciones muestreadas. Así se obtienen basándose en **observación** los siguientes datos:

**Tabla 6.1:** Velocidades de empaque máximas y mínimas de acuerdo a presentación.

Velocidad de empaque			
Presentación 15 ml		Presentación 60 ml	
Máxima [seg]	Mínima [seg]	Máxima [seg]	Mínima [seg]
7	4	5	3

Al estar la producción de envases en 72 envases por minuto con 6 personas sentadas en la mesa, el promedio ideal de empaque para la presentación de 15 ml es de **12 envases por minuto por persona**, y para una producción de 60 envases por minuto con 4 personas trabajando en la mesa, el promedio ideal de la presentación de 60 ml es de **15 envases por minuto por persona**; estos valores se obtienen dividiendo la cantidad de producto que está entrando a la banda entre la cantidad de personas que están trabajando en la mesa.

Para determinar el tiempo muerto se toman los valores de envases empacados promedio de los puestos de trabajo de la posición número 8, debido a que este dato representa los envases que son dejados por las demás personas para que sean procesados por el último puesto; entonces, al promedio ideal se le resta el obtenido y el nuevo valor se multiplica por el tiempo mínimo de empaque de la siguiente manera:

Envases no empacados en puesto 8 = Promedio ideal de empaque – Promedio real de empaque:

$$1,65 = 12 - 10,35 \quad (6.1)$$

Envases no empacados en puesto 8 multiplicado por mínimo tiempo de empaque presentación 15 ml = Segundos perdidos por minuto.

$$1.65 \times 4 = 6.6 \text{ segundos perdidos por minuto} \quad (6.2)$$

Convirtiendo este dato a segundos perdidos por hora (se multiplica por un factor 60) y luego a segundos perdidos por turno (se multiplica por un factor de 8), se obtiene el total de minutos que se pierden en un turno laboral, que en este caso son 3168 segundos por turno o sea 52, 8 minutos perdidos por turno por persona.

De igual manera, se toman los valores de la medición para la presentación de 60 ml y se calculan los minutos perdidos por turno que para este caso son 50,4 minutos perdidos por turno por persona según la muestra tomada.

Como primer punto de análisis se puede comparar una muestra ejemplo de datos que señalan claramente las diferencias de cargas entre los trabajadores. En la figura 6.1 se indica que el trabajador del puesto 8, está empacando en promedio 10,35 envases por minuto, cuando el promedio requerido para carga de trabajo equitativa es de 12 envases por minuto, de acuerdo a las condiciones que se están dando.

De igual manera, en diferentes condiciones como lo son para la presentación de envases de jarabe de 60 ml, datos presentados en la figura 6.3, se dispensan 60 envases por minuto sobre la banda, con 4 personas laborando en ella, lo que indica que el mínimo requerido de empaques por trabajador es de 15 empaques por minuto, pero la persona del puesto 8 está trabajando a un promedio de 12,9 empaques por minuto, o sea está empacando 2,1 envases **menos** de los que debería para tener una carga igual a la de los demás trabajadores de la mesa.

A consecuencia de esta situación, las personas de la mesa, rotaban puestos 2 veces por turno, para equilibrar en algún factor las cargas de trabajo, pero igual se estaban dando etapas de parado de producción debido a acumulación de producto en la mesa, debiendo mencionar que no en todas las presentaciones se dan las acumulaciones, sino que en producciones específicas contra tiempo.

Estas acumulaciones son provocadas por exceso de producción, falta de personal y acumulación de responsabilidades extras a las personas que se dedican al empaque. Esto puede deberse a que la persona que está en el puesto de trabajo 1, además de empacar, se debe de encargar del proceso de la etiquetadora (proceso anterior al de empaque); y otro ejemplo claro es la persona que está en el puesto 7; que está encargada de reinicializar el sistema lector de códigos de las cajas de empaque que salen de la mesa cuando hay un error, y si ocurre alguna caída de alguna caja que obstruya el paso de las venideras, debe de estar atenta a resolver el problema. Son muchos pequeños factores que en la empresa han estado corrigiendo paso a paso.

Al tener el repartidor equitativo, no se logró eliminar esta acumulación de producto, pero cabe destacar que es por la sobreproducción que se da. Como el sistema está repartiendo la misma cantidad de envases a todos los trabajadores, se da una acumulación equitativa, por lo que se mantiene el ideal de la igualdad de cargas de trabajo.

Queda demostrado en las figuras 6.2 y 6.4, la repartición de envases en forma equitativa. En dichas figuras no se representan los envases repartidos, sino los empacados, y se nota que, después de un mes de implementado el sistema, el promedio de envases por trabajador (en una muestra bajo las mismas condiciones de las muestras anteriores, respecto a velocidad de producción y cantidad de personas en la mesa) se acerca al promedio de 12 envases o 15 envases por minuto, de acuerdo a las presentaciones muestreadas, incluso dos de las medidas son iguales al promedio requerido.

Igualmente en las figuras 6.2 y 6.4, se encuentran datos de envases por minuto diferentes, pero que a la hora de tomar su promedio, se acerca al requerido, esto porque no todas las personas empaacan sincronizadas unas con otras, ni a la misma velocidad, pero se puede afirmar que las cargas de trabajo se equilibraron respecto a las cargas presentadas antes de la implementación del proyecto.

Para el estudio de resultados de funcionalidad del software a nivel de PC, el lunes 9 de mayo, se toma una muestra de medidas manuales para la cantidad de producto empacado por persona y se compara en la siguiente tabla con los datos registrados por el sistema en su archivo Excel generado automáticamente.

**Tabla 6.2:** Comparación etapa de adquisición de datos automática y manual.

<b>Hora</b>	<b>Dato contabilizado por software</b>	<b>Dato contabilizado manualmente</b>	<b>Empaque por minuto</b>
8:30 a.m.	173	173	10
8:31 a.m.	183	183	11
8:32 a.m.	194	194	15
8:33 a.m.	209	209	10
8:34 a.m.	219	219	13
8:35 a.m.	232	232	12
8:36 a.m.	244	244	12
8:37 a.m.	256	256	10
8:38 a.m.	266	266	15
8:39 a.m.	281	281	12
8:40 a.m.	293	293	
<b>Total de empaques en diez minutos:</b>			<b>120</b>

La funcionalidad de la etapa del software se verifica presentando los datos en tiempo real, en la línea de trabajo; se comprueba el funcionamiento de la etapa de comunicación con el sistema electromecánico, específicamente con el PLC, y el funcionamiento de los sensores encargados del conteo. En la Tabla 6.2 se muestra que en una comparación de un conteo manual y un conteo por el sistema, se obtienen los mismos valores. Y, además se comprueba la adquisición correcta de valores al descargar el archivo Excel indicado para ese turno.

De los datos obtenidos del archivo Excel generado, se pueden identificar varios eventos dados en la línea, como ausencia de la persona en el puesto (cuando se mantiene un dato por varios minutos), cambio de presentación (cuando todos los datos generados son mantenidos por más de media hora), incluso los paros de la línea con su hora respectiva registrada. El ejemplo del archivo Excel generado se presenta en la sección de Anexos en la tabla A.6.1.

Para finalizar, es importante mencionar la función de la cámara web, la cual cumple con la monitorización visual de las personas en la línea, creando un ambiente de supervisión para los trabajadores.

## **Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones**

### **7.1 Conclusiones.**

La implementación del sistema logra la repartición equitativa de producto, generando así la igualdad en las cargas de trabajo de las personas, eliminando procesos como el de rotación de personal. Con esto se dividen los tiempos muertos en igual cantidad a todos los trabajadores de la línea.

La monitorización llevada a cabo en este proyecto, genera un control de la etapa de empacado de la línea de jarabes, en el cual se puede medir eficiencia individual y global de los equipos de trabajo. Al darse en tiempo real en la línea, se le da a cada trabajador una herramienta de retroalimentación de su eficiencia por lo que su desempeño dependerá de él mismo.

Además se facilita el proceso de recolección de datos por medio de los archivos generados por turno de trabajo que describen la eficiencia de producción.

La naturaleza del proyecto y los procesos llevados a cabo en las diferentes líneas de producción dan cabida a generar la misma aplicación en diferentes áreas para mejorar los demás procesos de la empresa.

## 7.2 Recomendaciones

La ventaja en este punto es que para el máximo provecho del sistema, lo ideal en una segunda etapa del proyecto sería aumentarle la velocidad a la banda para reducir los tiempos muertos, creando así no solo un beneficio social, por las cargas equitativas de trabajo, sino también uno comercial, en el cual la empresa pueda producir la misma cantidad de producto en un menor lapso de tiempo, utilizando los mismos recursos con los que se producen actualmente.

Instalar el separador de envases en la etapa anterior al empaclado, ya que es fundamental que los envases tengan un mínimo de separación (medido de aproximadamente 5 cm) para que no se peguen y se pueda tener una lectura válida de los sensores notificadoros de envase sobre la banda, para que no ocurran errores como por ejemplo, de que 2 envases que van juntos, se dispensen en el mismo puesto de trabajo.

En producciones donde no se den acumulaciones de producto, aplicar la variación de la velocidad de la banda de transporte utilizada como mejorar del tiempo de cumplimiento de una orden de producción.

## Bibliografía

- [1] Loiola Zubia, I. *El PLC*. [En línea]. Recuperado el 10 de agosto del 2010 de [http://www.grupo-maser.com/PAG\\_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm](http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm)
- [2] Panasonic. (2005) *Powerful compact PLC with the processing power and expandability of larger PLCs*. Recuperado el 24 de agosto del 2010 de <http://pewa.panasonic.com/automation-controls/plc/fpx/>
- [3] Wikipedia. (2010). *Wikipedia*. Recuperado el 11 de agosto de 2010, de <http://es.wikipedia.org>.
- [4] Omron. (2007) *Ultracompact, Ultrathin Photoelectric Sensor with Built-in Amplifier*. [En línea]. Recuperado el 19 de noviembre del 2010 de [http://www.ia.omron.com/product/family/409/index\\_fea.html](http://www.ia.omron.com/product/family/409/index_fea.html)
- [5] Conrad. (2010). *Contrinex ind. sensor DW-AS-623-M8-001*. [En línea]. Recuperado el 22 de febrero del 2011 de [http://www.conrad.com/Contrinex-ind.-sensor-DW-AS-623-M8-001.htm?websale7=conrad-int&pi=155838&ci=SHOP\\_AREA\\_37352\\_0231041](http://www.conrad.com/Contrinex-ind.-sensor-DW-AS-623-M8-001.htm?websale7=conrad-int&pi=155838&ci=SHOP_AREA_37352_0231041)
- [6] SMC Pneumatics (2010). *SY5120-5DZ-0*. [En línea]. Recuperado el 30 de agosto del 2010 de <http://www.smc Pneumatics.com/SY5120-5DZ-01-F2.html>
- [7] Vildósola C., E., *Actuadores*. [En línea]. Recuperado el 3 de agosto del 2010 de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>.
- [8] SMC Pneumatics (2010). *CDRB1BW30-90S*. [En línea]. Recuperado el 30 de setiembre del 2010 de <http://www.smc Pneumatics.com/CDRB1BW30-90S.html>
- [9] Panasonic. (2010). *HMI*. [En línea]. Recuperado el 5 de agosto del 2010 de [http://www.panasonic-electric-works.com/peweu/en/downloads/ca\\_x636\\_en\\_hmi\\_4154.pdf](http://www.panasonic-electric-works.com/peweu/en/downloads/ca_x636_en_hmi_4154.pdf)
- [10] MSDN. (2010) *Visual Basic*. [En línea]. Recuperado el 18 de agosto del 2010 de <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/2x7h1hf k%28v=VS.80%29.aspx>

- [11] Panasonic. (2010). *FP-X User's Manual*. . [En línea]. Recuperado el 16 de setiembre del 2010 de <http://panasonic-denko.co.jp/ac/e/fasys/plc/plc/fp-x/manual/index.jsp>
- [12] Panasonic. (2010). *FP series Programmable Controllers Programming Manual*. . [En línea]. Recuperado el 16 de setiembre del 2010 de <http://panasonic-denko.co.jp/ac/e/fasys/plc/plc/fp-x/manual/index.jsp>
- [13] García, J., Rodríguez, J, Brazales, A., Funes, P., Carrasco, E., Calleja, J. (2009) *Curso Completo de Visual Basic 6.0* [En línea]. Recuperado el 21 de setiembre del 2010 de [http://www.edudevices.com.ar/articulos\\_basic.htm](http://www.edudevices.com.ar/articulos_basic.htm)
- [14] Blanco, L., (2002) *Programación en Visual Basic .Net*. [En línea]. Recuperado el 2 de diciembre del 2010 de <http://es.scribd.com/doc/9095020/Programacion-Visual-Basic-NET-Eidos>
- [15] Microsoft (2010) *MSDN Library (en español)*. [En línea]. Recuperado en diciembre del 2010 de <http://msdn.microsoft.com/library/ms123401>
- [16] Panasonic (2005) *FP PLC OPEN PROTOCOL MEWTOCOL* [En línea]. Recuperado el 26 de octubre del 2010 de [www.victronics.cl/Inf\\_tecnica/Metaltext/automacion/Manuais/Protocolo%20Mewtocol.doc](http://www.victronics.cl/Inf_tecnica/Metaltext/automacion/Manuais/Protocolo%20Mewtocol.doc)
- [17] Panasonic (2004) *MEWTOCOL Communication Procedure* [En línea]. Recuperado el 25 de agosto del 2010 de <http://panasonic-denko.co.jp/ac/e/dl/manual-list/plc.jsp>
- [18] WordReferebce.com. *Diccionario de la lengua española*. [En línea]. Consulta: 13 de agosto de 2010. Disponible en: <<http://www.wordreference.com/definicion/> >
- [19] ALEGSA.com.ar. *Diccionario de informática*. [En línea]. Consulta: 13 de agosto de 2010. Disponible en: <<http://www.alegsa.com.ar> >

## Apéndices y anexos

### A.1 Glosario y Abreviaturas

#### Abreviaturas

**Corp.:** Corporation.

**HMI:** Human Interface Machine (Interfaz maquina-humano)

**I/O:** Entradas y salidas de los módulos del PLC.

**ITCR:** Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**PC:** Personal Computer.

**PLC:** Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).

**RTC:** Real Time Clock

**USB:** Universal Serial Bus.

#### Glosario

**Alimentación:** referencia a fluido eléctrico.

**Banda de transporte:** sistema de transporte continuo formado básicamente por una banda continua que se mueve entre dos tambores [3]

**Cargas de trabajo:** cantidad de actividades que una persona realiza durante su jornada laboral.

**Electroválvula:** es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería [3]

**Encoder:** suele ser un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital [3]

**Hardware:** cualquier componente físico tecnológico, que trabaja o interactúa de algún modo con la computadora. [19]

**Mewtocol:** Protocolo de comunicación de la Panasonic.

**Relé:** dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor y es controlado por medio de una señal eléctrica.

**Sensor fotoeléctrico:** es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz[3]

**Sistema:** conjunto de elementos que, ordenadamente relacionados entre sí, constituyen a determinado objeto. [18]

**Software:** es todo programa o aplicación programada para realizar tareas específicas. [19]

**Tiempo muerto:** Tiempo de ocio que tiene el trabajador que está en la línea de producción, causado por diferentes razones.

## **A.2. Manual de Usuario**

### **INTRODUCCIÓN:**

Por medio de este documento se le brindará la introducción al sistema Repartidor Automático de Jarabes instalado en la empresa GlaxoSmithKline Costa Rica S.A., en mayo del 2011, como parte de las mejoras establecidas por el departamento de Operaciones, junto con la colaboración de implementación por parte del departamento de Mantenimiento e Instalaciones.

### **OBJETIVO PRINCIPAL**

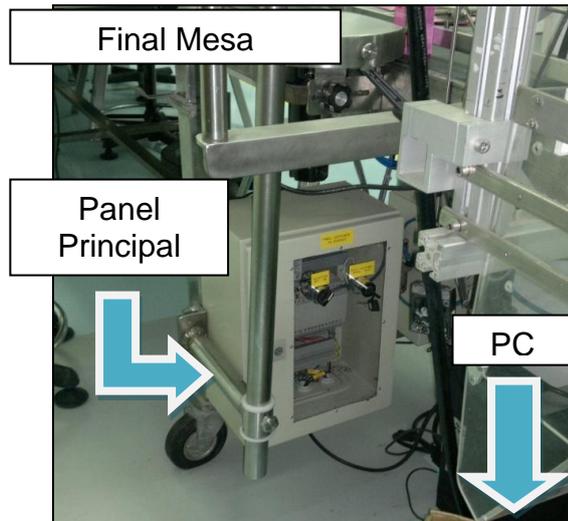
Repartir la misma cantidad de envases a todas las personas sentadas en la mesa desempeñando la labor de empaque, en consecuencia igualar las cargas de trabajo, velar por la seguridad laboral y crear un mejor ambiente para el beneficio de los y las trabajadoras de la línea.

### **INSTRUCCIONES**

#### **Al iniciar el turno de trabajo:**

Conectar al cable de alimentación con la etiqueta “Sorteador de Jarabes”, hacia el toma corriente con la misma etiqueta.

En el panel principal del SORTEADOR, girar la llave de RESET CONTADORES de la posición “Normal” a la posición “Reset” y nuevamente a “Normal” (Esto inicializará el programa del PLC y pondrá en “0” los contadores del sistema).

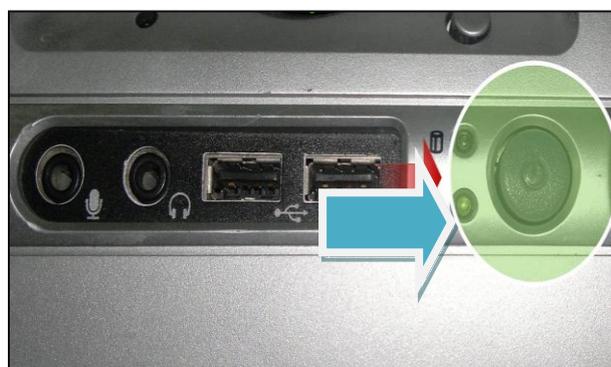


**Figura A.2.1:** Ubicación física del Panel Principal del Sorteador y la PC.



**Figura A.2.2:** Interruptor de Selección de Encendido del Sistema (SELECCIÓN) y Reset de Contadores del sistema en el Panel Principal del Sorteador de Envases.

Encender la PC junto a la columna. Presionar el botón gris señalado en la imagen.



**Figura A.2.3:** Señalización de botón encendido PC.

Encender la pantalla. Utilizar en control remoto ubicado en la gaveta del escritorio de la línea de empaque de jarabes, con la etiqueta “Sorteador Jarabes”, presionar el botón ON.



**Figura A.2.4:** Pantalla de Monitorización Línea de Jarabes.

Una vez encendida la PC, aparecerá la siguiente imagen en pantalla, con el mouse, dar doble clic al icono que aparece sobre el símbolo de GSK.



**Figura A.2.5:** Pantalla de inicio de la PC

Aparecerá la siguiente imagen en la pantalla. Una vez iniciado el proceso de empaque, los datos de la pantalla irán cambiando de acuerdo a la producción que se esté dando.

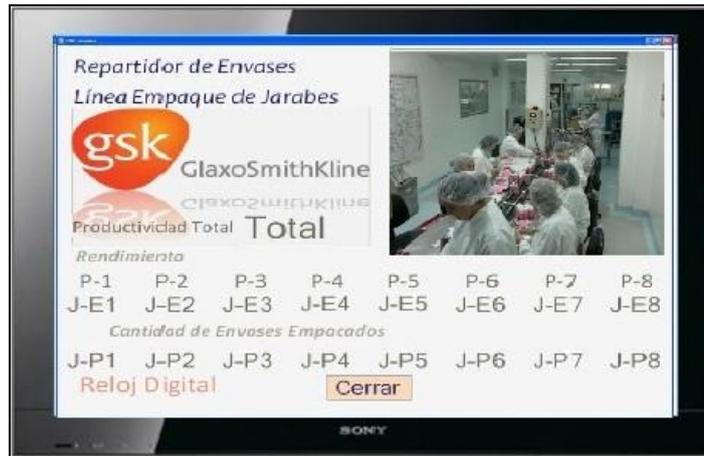


Figura A.2.6: Pantalla de inicialización del software.

**Durante el turno:**

### ***FUNCIONES***

#### **FUNCIÓN 1: REPARTIDOR 50/50**

Poner en PANEL SORTEADOR DE ENVASES el interruptor de SELECCIÓN en OFF, así el sistema funcionará solamente con la paleta principal colocada al inicio de la mesa y repartirá los envases, 50% del lado derecho y 50% del lado izquierdo. Las paletas secundarias NO estarán activadas.



Figura A.2.7: Interruptor de selección.

## **FUNCIÓN 2: REPARTIDOR EQUITATIVO.**

Poner en PANEL SORTEADOR DE ENVASES el interruptor de SELECCIÓN en ON, el sistema repartirá de cada lado de las guías la cantidad de envases, de acuerdo a los interruptores de “encendido de puesto” sobre la mesa que estén de color VERDE (Ejemplo: Si hay 3 interruptores en color VERDE del lado izquierdo, repartirá 3 envases del lado izquierdo). Así mismo se activará la paleta del puesto.

Poner en interruptor de “encendido de puesto” en verde, para que se reparta producto en el puesto correspondiente (Posición física: a la izquierda del puesto)

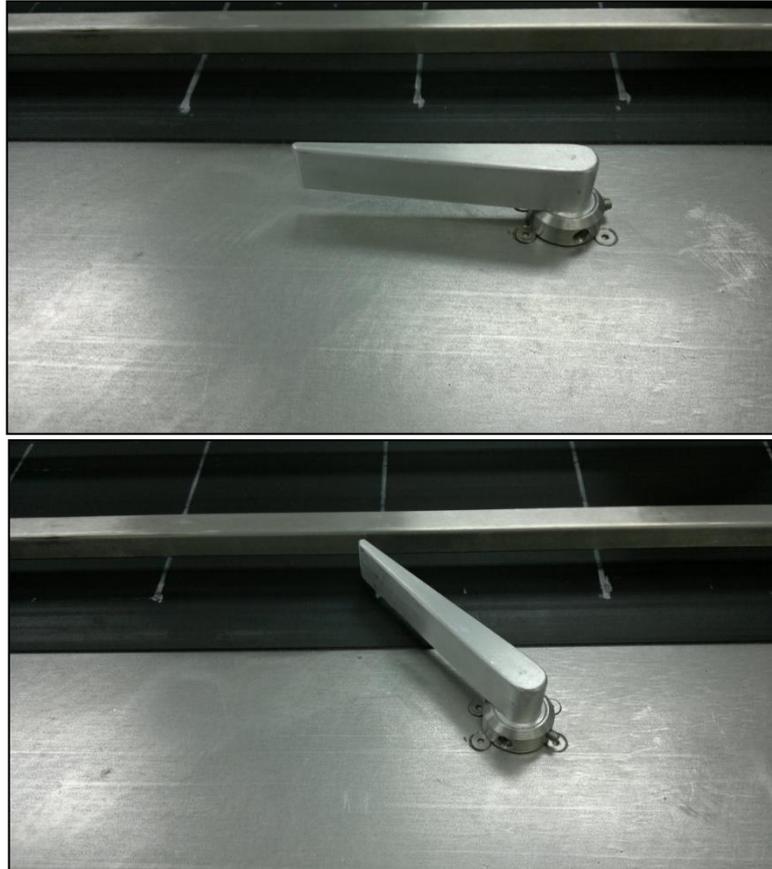


**Figura A.2.8:**

Interruptor en posición ON (Luz VERDE encendida)

Interruptor en posición OFF (Luz ROJA encendida).

En funcionamiento normal, si el sistema presenta alguna anomalía, girar el interruptor de SELECCIÓN en el PANEL PRINCIPAL, y volverlo a la posición anterior, esto dará un RESET AUXILIAR al sistema pero sin afectar los contadores de producto.



**Figura A.2.9:** Movimiento de la paleta al estar en interruptor de encendido de puesto en VERDE

**Al finalizar el turno:**

Presionar el botón de encendido de la PC, para que esta se apague; esto guardará un archivo Excel con la estadística de producción del turno, en la carpeta "**C:\GSK - Jarabes**", con la fecha y hora de inicio del turno.

Apagar la pantalla.

Girar la llave de RESET CONTADORES de "Normal" a "Reset" y devolverla a "Normal".

## **A.3 Información sobre la empresa**

### **A.3.1 Descripción de la empresa**

El proyecto se realizará en GlaxoSmithKline, empresa dedicada a la elaboración de productos farmacéuticos, productos de cuidado dental y de la salud, la cual en Costa Rica cuenta con edificios administrativos y de manufactura, ubicados en Sabanilla de Montes de Oca, en San José. Actualmente labora unos 300 empleados.

### **A.3.2 Descripción del departamento en la que se realizó el proyecto**

La planta se concentra en labores de empaque para algunos de sus productos, pero para los jarabes, se cuenta con una línea de producción que cumple las funciones de fabricación del jarabe, llenado, etiquetado, pesaje y empaque del producto final, en presentación individual y presentación de distribución.

Esta línea es una conexión de bandas transportadoras en serie, la cual en su penúltima etapa de producción, se encarga de empaçar el frasco de jarabe en su respectiva caja, con sus indicaciones y de acuerdo al producto un extra para su aplicación, ya sea una cuchara o un gotero.

La etapa es operada por personas ordenadas en una mesa rectangular, 5 personas de cada lado y por el centro de la mesa pasa la banda transportadora de producto, aquí cada persona toma un frasco que entra por un extremo de la mesa, lo empaça de acuerdo al proceso anteriormente descrito y seguidamente lo vuelve a poner en la misma banda para que se empaquen sus cajas de distribución final.

GlaxoSmithKline para procesos que involucran manufactura y distribución del producto como el que se menciono anteriormente, trabaja de acuerdo a órdenes de producción, que se presentan en un plan establecido. De acuerdo a este plan,

se determina una ruta para cada producto, siendo la ruta la forma de indicar la cantidad de personas que se requiere en el proceso y la velocidad a la que se debería de trabajar cada presentación (para el caso de los jarabes la máxima velocidad de la máquina es de 72 unidades por minuto y la mínima de 55 unidades por minuto).

#### **A.4 Detalles de la conexión del PLC.**

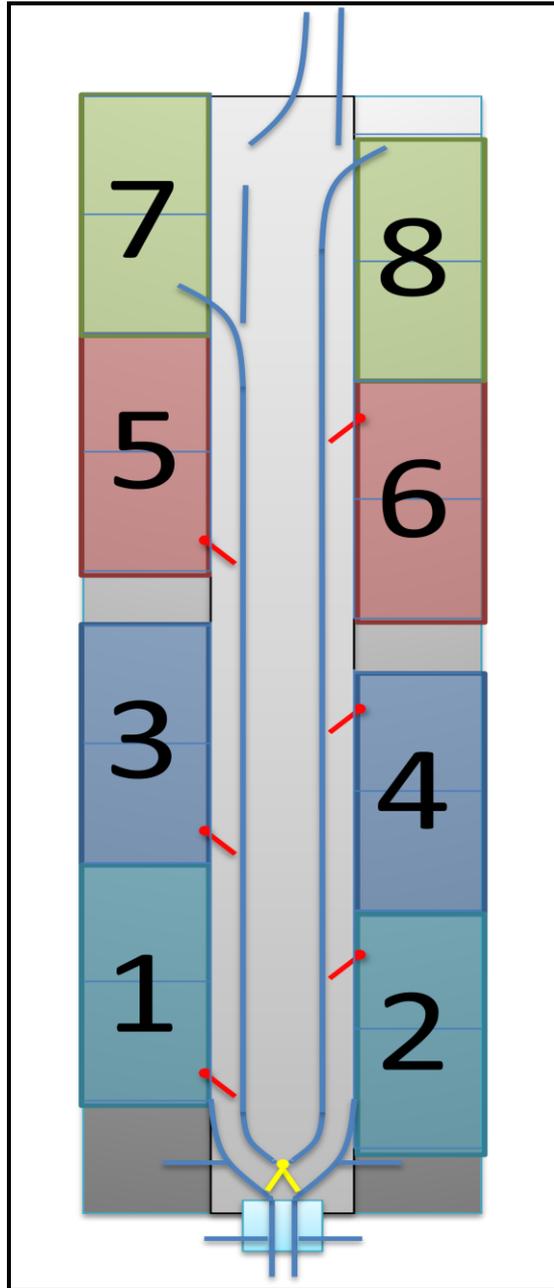
Todas las conexiones de señales que van conectadas a las entradas del PLC, se resumen en la siguiente tabla y las siguientes imágenes, adicionando las salidas del PLC que son las que van al bloque de electroválvulas, y a una alarma sonora.

De la tabla A.4.1 se denota el nombre de la variable que se le da a cada señal que llega a la patilla respectiva del PLC, cabe mencionar que por convención estándar de la Panasonic, las entradas del PLC son nombradas con la letra “X” acompañada de un numero y las salidas con la letras “Y” más un numeral. De aquí es donde mejor se puede demostrar la elección del PLC, ya que se requieren de 24 entradas y el modelo FPX-C60 tiene 32, y su antecesor en FPX-C30 cuenta con 16, por lo que se opta por comprar el FPX-C60.

**Tabla A.4.1:** Nombre de la señal y patilla en el PLC asignada

	Variable DF	Patilla PLC
1	ENCODER	X1
2	SW_ON	X2
3	SW_L1	X3
4	SW_L2	X4
5	SW_L3	X5
6	SW_L4	X6
7	SW_R1	X7
8	SW_R2	X8
9	SW_R3	X9
10	SW_R4	XA
11	SNBi	XB
12	SNIP_L	XC
13	SNIP_R	XD
14	S1 Sensor L1	XE
15	S2 Sensor R1	XF
16	S3 Sensor L2	X10
17	S4 Sensor R2	X11
18	S5 Sensor L3	X12
19	S6 Sensor R3	X13
20	S7 Sensor L4	X14
21	S8 Sensor R4	X15
22	SF Sensor Final	X16
23	SW_L5	X17
24	S9 Sensor L5	X18
25	OBi	Y0
26	OB_L1	Y1
27	OB_L2	Y2
28	OB_L3	Y3
29	OB_R1	Y4
30	OB_R2	Y5
31	OB_R3	Y6
32	Buzzer	Y7

Se colocan 4 mini paneles, hacia los cuales se dirigen el cableado de los sensores y los interruptores para que luego de estos, vayan al panel principal donde se encuentra el PLC. De manera más visual se presentan las conexiones realizadas entre los 4 mini paneles con el panel principal específicamente con el PLC. Las regletas de conexiones representan los paneles, de X1 a X4, se nombran los mini paneles y el panel principal es la regleta con el nombre XPP. Cabe mencionar que para la asignación de nombres de los sensores y los interruptores, se utiliza por puesto de trabajo en el que están colocados los componentes, y los puestos de trabajo se numeran de la siguiente manera:



**Figura A.4.1:** Numeración de puestos para nombramiento de elementos en diagramas de conexión, números pares del lado derecho y números impares del lado izquierdo de la mesa.

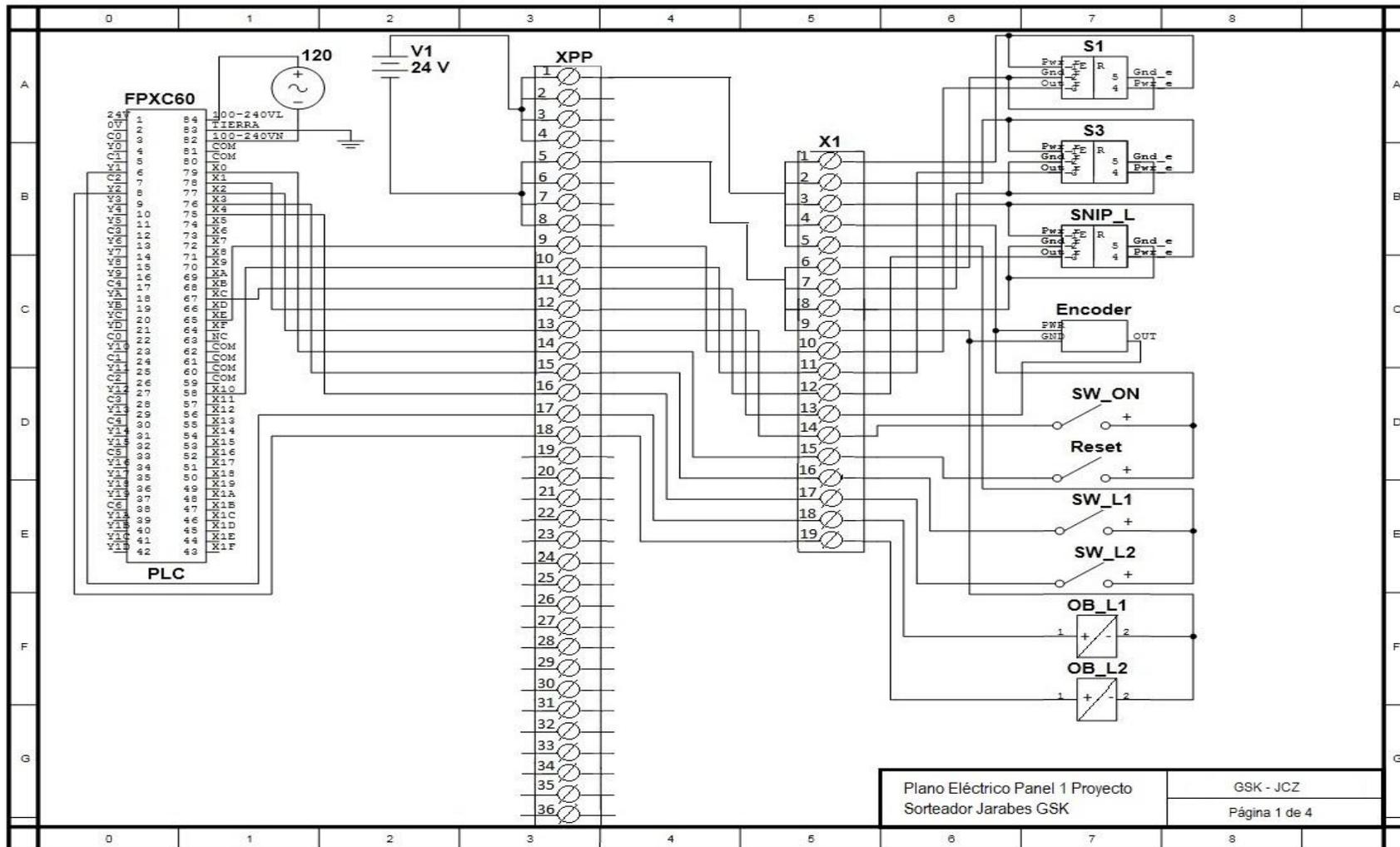


Figura A.4.2: Conexión de componentes en la mesa con la regleta X1 posicionada en el primer mini panel y regleta XPP del panel del PLC

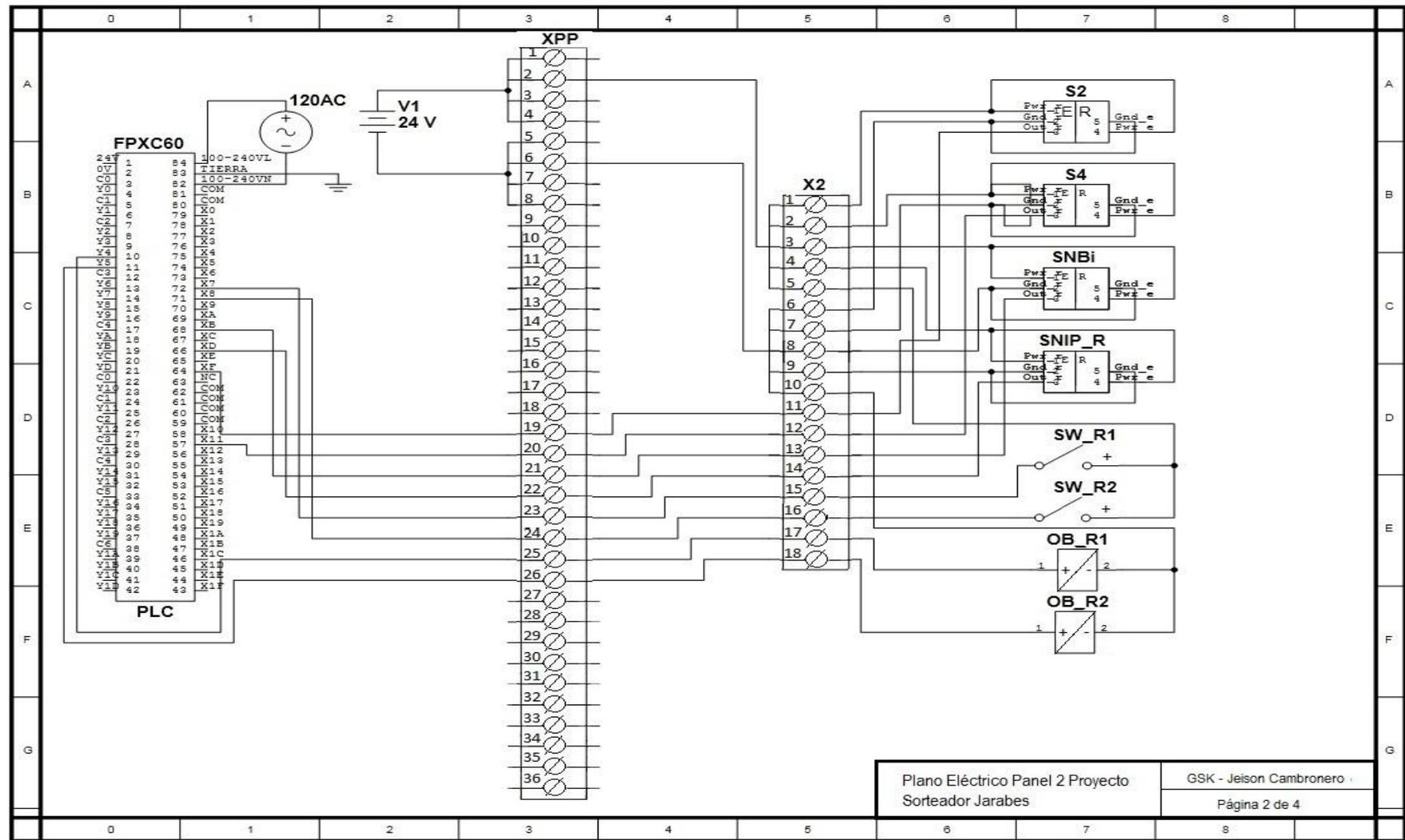


Figura A.4.3: Conexión de componentes en la mesa con la regleta X2 posicionada en el segundo mini panel y regleta XPP del panel del PLC

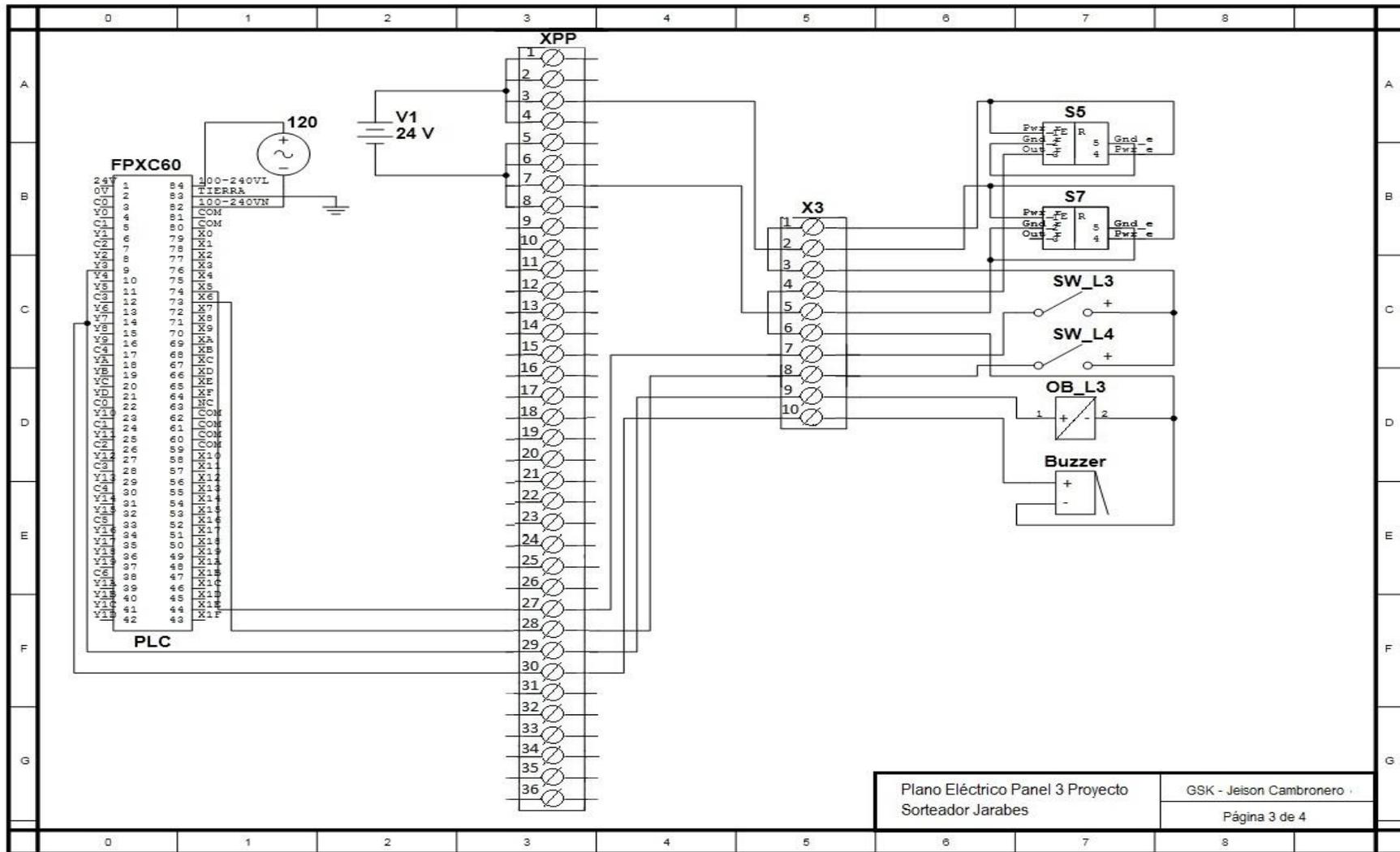


Figura A.4.4: Conexión de componentes en la mesa con la regleta X3 posicionada en el tercer mini panel y regleta XPP del panel del PLC

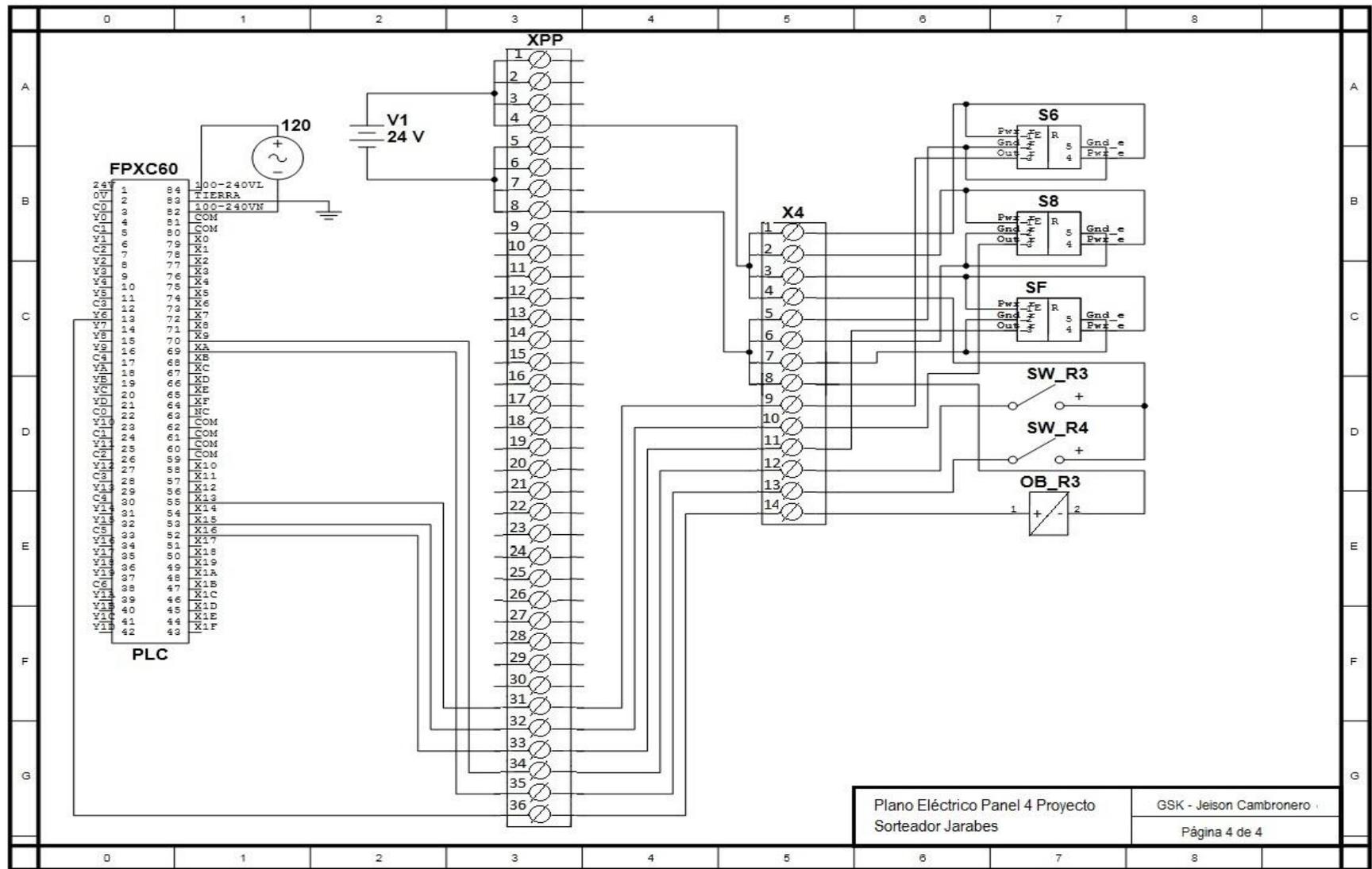


Figura A.4.5: Conexión de componentes en la mesa con la regleta X4 posicionada en el cuarto mini panel y regleta XPP del panel del PLC

Para mayor control de las conexiones se establecen las siguientes tablas resumen, que indican la patilla del PLC hacia que regleta de los mini paneles va conectada y además se registra el color de cable para control de mantenimiento del mismo sistema:

**Tabla A.4.2:** Resumen de conexiones I/O del PLC a regleta XPP y hacia diferentes regletas

	Variable DF	Patilla PLC	XPP	Hacia Regleta #	# Cable en Regleta	Color de Cable
0	RESET	X0	1	XPP	-----	-----
1	ENCODER	X1	2	3	1	Rojo
2	SW_ON	X2	3	XPP	-----	-----
3	SW_L1	X3	4	3	2	Negro
4	SW_L2	X4	5	3	3	Verde
5	SW_L3	X5	6	4	1	Rojo
6	SW_L4	X6	7	4	2	Verde
7	SW_R1	X7	8	1	1	Rojo
8	SW_R2	X8	9	1	2	Negro
9	SW_R3	X9	10	2	1	Rojo
10	SW_R4	XA	11	2	2	Negro
11	SNBi	XB	12	1	3	Verde
12	SNIP_L	XC	13	3	4	Negro
13	SNIP_R	XD	14	1	4	Negro
14	S1 Sensor L1	XE	15	3	5	Azul
15	S2 Sensor R1	XF	16	1	5	Azul
16	S3 Sensor L2	X10	17	3	6	Negro
17	S4 Sensor R2	X11	18	1	6	Negro
18	S5 Sensor L3	X12	19	4	3	Blanco
19	S6 Sensor R3	X13	20	2	3	Blanco
20	S7 Sensor L4	X14	21	4	4	Negro
21	S8 Sensor R4	X15	22	2	4	Negro
22	SF Sensor Final	X16	23	2	5	Rojo
23	SW_L5	X17	24	4	5	Rojo
24	S9 Sensor L5	X18	25	4	6	Negro
25	OBi	Y0	26	5	Cable Válvulas # 1	Negro
26	OB_L1	Y1	27	5		Café
27	OB_L2	Y2	28	5		Gris
28	OB_L3	Y3	29	5		Blanco
29	OB_R1	Y4	30	5	Cable Válvulas # 2	Negro
30	OB_R2	Y5	31	5		Café
31	OB_R3	Y6	32	5		Azul
32	Buzzer	Y7	33	-----		Gris

Las tablas siguientes indican las conexiones que salen de las regletas de los mini paneles hacia la regleta XPP, denotando que la regleta X5 es la ubicada en el panel del bloque de las electroválvulas,

**Tabla A.4.3:** Resumen de conexiones en regleta X5 hacia regleta XPP

Cable #	Reg X5	Color	Reg XPP
-----	+	N/A	-----
	-	Azul	
# 1	1	Negro	26
	2	Café	27
	3	Gris	28
	4	Blanco	29
# 2	5	Negro	30
	6	Café	31
	7	Azul	32
	8	Gris	33

**Tabla A.4.4:** Resumen de conexiones en regleta X1 hacia regleta XPP

Reg X1	Color	Reg XPP
+	Rojo/Amarillo	-----
-	Azul/Negro	-----
1	Rojo	8
2	Negro	9
3	Verde	12
4	Negro	14
5	Azul	16
6	Negro	18
7	Blanco	-----
8	Negro	-----

**Tabla A.4.5:** Resumen de conexiones en regleta X2 hacia regleta XPP

Cable #	Reg X2	Color	Reg XPP
	+	Rojo/Amarillo	-----
	-	Azul/Negro	-----
# 1	1	Rojo	10
	2	Negro	11
	3	Blanco	20
	4	Negro	22
# 2	5	Rojo	23
	6	Negro	-----
	7	Blanco	-----
	8	Negro	-----

**Tabla A.4.6:** Resumen de conexiones en regleta X3 hacia regleta XPP

Reg X3	Color	Reg XPP
+	Rojo/Amarillo	-----
-	Azul/Negro	-----
1	Rojo	2
2	Negro	4
3	Verde	5
4	Negro	13
5	Azul	15
6	Negro	17
7	Blanco	-----
8	Negro	-----

**Tabla A.4.7:** Resumen de conexiones en regleta X4 hacia regleta XPP

Cable #	Reg X4	Color	Reg XPP
	+	Rojo/Amarillo	-----
	-	Azul/Negro	-----
# 1	1	Rojo	6
	2	Negro	7
	3	Blanco	19
	4	Negro	21
# 2	5	Rojo	24
	6	Negro	25
	7	Blanco	-----
	8	Negro	-----

## A.5 Datos numéricos mediciones gráficas para análisis de resultados.

**Tabla A.5.1:** Medición de empaques por minuto del puesto 2 y puesto 8, para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto. Octubre 2010.

Hora [am]	Envases empacados por minuto puesto 2	Envases empacados por minuto puesto 8
8:00	14	10
8:01	14	10
8:02	13	11
8:03	14	11
8:04	13	10
8:05	14	12
8:06	14	12
8:07	14	11
8:08	14	11
8:09	14	9
8:10	14	11
8:11	13	9
8:12	12	10
8:13	13	9
8:14	13	12
8:15	14	9
8:16	14	9
8:17	12	12
8:18	14	10
8:19	14	9
<b>Promedio</b>	13,55	10,35

Igual medida tomada con el sistema implementado

**Tabla A.5.2:** Medición de empaques por minuto del puesto 2 y puesto 8, para la presentación de 15 ml, con una producción de 72 envases por minuto. Abril 2011.

Hora [am]	Envases empacados por minuto Puesto 2	Envases empacados por minuto puesto 8
8:00	11	12
8:01	11	12
8:02	13	12
8:03	12	13
8:04	11	12
8:05	11	10
8:06	13	13
8:07	13	11
8:08	13	12
8:09	12	12
8:10	11	12
<b>Promedio</b>	12	11,9

**Tabla A.5.3:** Medición de empaques por minuto del puesto 2 y puesto 8, para la presentación de 60 ml, con una producción de 60 envases por minuto. Octubre 2010.

Hora [am]	Envases empacados por minuto Puesto 2	Envases empacados por minuto puesto 8
8:00	19	15
8:01	16	14
8:02	16	12
8:03	17	10
8:04	16	15
8:05	17	14
8:06	16	14
8:07	19	12
8:08	18	11
8:09	19	12
8:10	18	11
8:11	20	12
8:12	19	10
8:13	15	15
8:14	15	15
8:15	18	14
8:16	19	13
8:17	17	15
8:18	17	14
8:19	19	10
<b>Promedio</b>	17,5	12,9

Igual medida tomada con el sistema implementado

**Tabla A.5.4:** Medición de empaques por minuto del puesto 2 y puesto 8, para la presentación de 60 ml, con una producción de 60 envases por minuto. Abril 2011.

Hora [am]	Envases empacados por minuto Puesto 2	Envases empacados por minuto puesto 8
8:00	14	14
8:01	16	15
8:02	15	16
8:03	14	15
8:04	14	16
8:05	15	15
8:06	15	16
8:07	15	14
8:08	14	14
8:09	16	15
8:10	14	14
<b>Promedio</b>	14,8	15

## A.6 Muestra de adquisición de datos sábado 21 de mayo del 2011 para corroborar funcionamiento del software a nivel de la PC.

**Tabla A.6.1:** Adquisición de datos, el sábado 21 de mayo, para corroborar el funcionamiento del software a nivel de la PLC

Hora	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5	Puesto 6	Puesto 7	Puesto 8	Total Suma	Total Sensor
12:00 p.m.	879	2887	1507	2290	571	399	3998	4036	16567	11127
12:00 p.m.	879	2887	1507	2290	571	399	3998	4036	16567	11127
12:01 p.m.	879	2887	1507	2290	571	399	4001	4038	16567	11134
12:01 p.m.	879	2887	1508	2292	571	399	4011	4042	16572	11145
12:02 p.m.	879	2887	1508	2292	571	399	4014	4043	16589	11151
12:02 p.m.	879	2887	1508	2293	571	399	4014	4043	16593	11153
12:03 p.m.	879	2887	1508	2300	571	399	4026	4055	16594	11177
12:03 p.m.	879	2887	1508	2300	571	399	4029	4059	16625	11185
12:04 p.m.	879	2887	1508	2300	571	399	4029	4059	16632	11185
12:04 p.m.	879	2887	1508	2301	571	399	4033	4063	16632	11193
12:05 p.m.	879	2887	1508	2301	571	399	4036	4066	16641	11200
12:05 p.m.	879	2887	1508	2307	571	399	4036	4070	16647	11211
12:06 p.m.	879	2887	1508	2311	571	399	4036	4072	16657	11218
12:06 p.m.	879	2887	1508	2311	571	399	4036	4076	16663	11228
12:07 p.m.	879	2887	1508	2311	571	399	4036	4079	16667	11235
12:07 p.m.	879	2887	1509	2319	571	399	4036	4083	16670	11246
12:08 p.m.	879	2887	1510	2322	571	399	4037	4092	16683	11260
12:08 p.m.	879	2887	1510	2326	571	399	4037	4095	16697	11267
12:09 p.m.	879	2887	1510	2335	571	399	4046	4109	16704	11282
12:09 p.m.	879	2887	1510	2344	571	399	4060	4119	16736	11311
12:10 p.m.	879	2887	1510	2351	571	399	4074	4136	16769	11336
12:10 p.m.	879	2887	1510	2358	571	399	4087	4151	16807	11361
12:11 p.m.	879	2887	1511	2366	571	399	4100	4164	16842	11386
12:11 p.m.	879	2887	1511	2374	571	399	4116	4182	16877	11412
12:12 p.m.	879	2887	1511	2384	571	399	4128	4197	16919	11436
12:12 p.m.	879	2887	1511	2390	571	399	4145	4214	16956	11465
12:13 p.m.	879	2887	1512	2398	571	399	4163	4230	16996	11486
12:13 p.m.	879	2887	1512	2403	571	399	4172	4238	17039	11501
12:14 p.m.	880	2896	1512	2411	571	399	4185	4253	17061	11533
12:14 p.m.	880	2904	1513	2418	571	399	4198	4263	17107	11571
12:15 p.m.	880	2910	1513	2427	571	399	4216	4281	17146	11598
12:15 p.m.	880	2921	1513	2436	571	399	4224	4288	17197	11633
12:16 p.m.	880	2929	1514	2445	571	399	4240	4303	17232	11670
12:16 p.m.	880	2938	1514	2451	571	399	4253	4314	17281	11703
12:17 p.m.	880	2949	1514	2456	571	399	4262	4323	17320	11733
12:17 p.m.	880	2954	1514	2464	571	399	4279	4340	17354	11772
12:18 p.m.	880	2959	1514	2471	571	399	4294	4356	17401	11807

12:18 p.m.	880	2964	1514	2473	571	399	4306	4367	17444	11823
12:19 p.m.	880	2975	1514	2480	571	399	4313	4371	17474	11853
12:19 p.m.	880	2982	1514	2491	571	399	4329	4386	17503	11892
12:20 p.m.	880	2993	1514	2499	571	399	4340	4397	17552	11921
12:20 p.m.	880	3002	1514	2505	571	399	4351	4406	17593	11958
12:21 p.m.	880	3009	1514	2513	571	399	4366	4420	17628	11993
12:21 p.m.	880	3021	1514	2518	571	399	4379	4434	17672	12028
12:22 p.m.	880	3029	1515	2525	571	399	4395	4450	17716	12066
12:22 p.m.	880	3036	1515	2534	571	399	4411	4465	17764	12097
12:23 p.m.	880	3047	1515	2541	571	399	4421	4474	17811	12128
12:23 p.m.	880	3054	1515	2550	571	399	4431	4480	17848	12161
12:24 p.m.	880	3066	1516	2557	571	399	4437	4492	17880	12189
12:24 p.m.	880	3077	1516	2565	571	399	4451	4508	17918	12224
12:25 p.m.	880	3084	1516	2573	571	399	4463	4518	17967	12256
12:25 p.m.	880	3096	1516	2580	571	399	4476	4534	18004	12290
12:26 p.m.	880	3104	1516	2583	571	399	4481	4545	18052	12320
12:26 p.m.	880	3113	1516	2590	571	399	4490	4551	18079	12342
12:27 p.m.	880	3122	1516	2594	572	400	4494	4560	18110	12370
12:27 p.m.	880	3128	1516	2597	572	400	4509	4573	18138	12396
12:28 p.m.	880	3138	1516	2604	572	400	4522	4590	18175	12432
12:28 p.m.	880	3149	1516	2608	572	400	4529	4597	18222	12457
12:29 p.m.	880	3156	1516	2615	572	400	4545	4608	18251	12492
12:29 p.m.	880	3167	1516	2623	572	400	4559	4622	18292	12526
12:30 p.m.	880	3177	1516	2627	572	400	4572	4628	18339	12546
12:30 p.m.	880	3185	1516	2633	572	400	4577	4631	18372	12563
12:31 p.m.	880	3195	1516	2637	572	400	4587	4646	18394	12588
12:31 p.m.	880	3203	1516	2645	572	400	4604	4661	18433	12625
12:32 p.m.	880	3211	1516	2651	572	400	4618	4675	18481	12654
12:32 p.m.	880	3219	1516	2656	572	400	4628	4685	18523	12687
12:33 p.m.	880	3228	1516	2664	572	400	4641	4697	18556	12707
12:33 p.m.	880	3235	1517	2672	572	400	4651	4706	18598	12740
12:34 p.m.	880	3245	1517	2677	572	400	4659	4720	18633	12764
12:34 p.m.	880	3255	1517	2682	572	400	4676	4736	18670	12797
12:35 p.m.	888	3266	1517	2687	582	410	4684	4741	18718	12816
12:35 p.m.	894	3277	1518	2690	606	434	4695	4741	18775	12845
12:36 p.m.	903	3292	1519	2696	606	434	4699	4749	18855	12871
12:36 p.m.	913	3302	1528	2703	606	434	4701	4758	18898	12903
12:37 p.m.	921	3314	1533	2709	606	434	4708	4763	18945	12926
12:37 p.m.	926	3327	1540	2719	607	437	4711	4769	18988	12954
12:38 p.m.	935	3343	1548	2728	607	437	4715	4777	19036	12991
12:38 p.m.	936	3353	1552	2738	608	438	4718	4785	19090	13029
12:39 p.m.	942	3358	1555	2741	611	441	4718	4792	19128	13045
12:39 p.m.	948	3370	1562	2751	611	441	4719	4798	19158	13074

12:40 p.m.	957	3386	1570	2760	611	441	4721	4805	19200	13106
12:40 p.m.	967	3401	1578	2770	611	441	4721	4814	19251	13141
12:41 p.m.	973	3411	1583	2776	611	441	4731	4822	19303	13175
12:41 p.m.	985	3425	1584	2787	611	441	4740	4831	19348	13219
12:42 p.m.	991	3435	1584	2789	611	441	4750	4836	19404	13255
12:42 p.m.	998	3446	1584	2793	611	441	4765	4847	19437	13296
12:43 p.m.	998	3453	1584	2797	611	441	4781	4861	19485	13329
12:43 p.m.	998	3461	1591	2808	611	441	4793	4868	19526	13372
12:44 p.m.	998	3469	1602	2822	611	441	4803	4877	19571	13404
12:44 p.m.	998	3475	1608	2830	611	441	4815	4888	19623	13435
12:45 p.m.	998	3486	1614	2842	611	441	4828	4903	19666	13471
12:45 p.m.	998	3494	1615	2853	611	441	4842	4918	19723	13504
12:46 p.m.	998	3500	1622	2860	611	441	4852	4925	19772	13528
12:46 p.m.	998	3508	1628	2869	611	441	4864	4936	19809	13568
12:47 p.m.	998	3518	1634	2875	611	441	4877	4951	19855	13602
12:47 p.m.	998	3520	1643	2885	611	441	4887	4963	19905	13623
12:48 p.m.	998	3527	1648	2894	611	441	4899	4972	19948	13660
12:48 p.m.	1005	3538	1653	2900	611	441	4901	4979	19990	13688
12:49 p.m.	1015	3552	1658	2907	611	441	4901	4986	20028	13715
12:49 p.m.	1018	3561	1666	2918	611	442	4903	4993	20071	13739
12:50 p.m.	1018	3564	1675	2927	611	442	4909	5002	20112	13775
12:50 p.m.	1018	3574	1680	2934	612	443	4918	5011	20148	13811

## A.5 Fórmulas

Masa respecto a densidad y volumen

$$Masa\ frasco = Densidad \times Volumen \quad (5.1)$$

Aceleración respecto a distancia y tiempo

$$a = d \times t^2 \quad (5.2)$$

Fuerza respecto a masa y aceleración

$$F = m \times a \quad (5.3)$$