



Maestría en Instrumentación y Automatización

**Sistema Semiautomático de Medición de
Tiempos para Puestos de Trabajo de la
Banda Transportadora del Laboratorio
de Procesos Universidad de Boyacá**

Andrés Felipe Rodríguez Cuervo

Tutor: D.Sc. Alvaro David Orjuela Cañón

**Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Universidad Antonio Nariño
Bogotá, Colombia
2018**



Master in Instrumentation and Automation

Semiautomatic Time Measurement
System for Workstations of the
Conveyor Belt of the Process Laboratory
University of Boyacá

Andrés Felipe Rodríguez Cuervo

Tutor: D.Sc. Alvaro David Orjuela Cañón

Faculty of Mechanics, Electronic and Biomedical
Engineering
University Antonio Nariño
Bogotá, Colombia
2018

Agradecimientos

Agradezco primero a Dios por darme la posibilidad de concluir otra etapa en mi vida como magister, también por su misericordia, amor y bondad, a mis padres Jaime Rodríguez Moreno y Luz Stella Cuervo Arias por su amor, su apoyo y esfuerzo, a mi esposa por motivarme y ser la felicidad de mi vida, a mi director de trabajo de grado D.Sc. Alvaro David Orjuela Cañón por sus consejos, orientaciones y asesorías y al Ing. Cesar Castillo y a mis estudiantes Dairo Díaz, Sebastián Palacios, Wilson Robayo por su dedicación y compromiso en las actividades realizadas en este proyecto.

Índice general

1	Introducción	1
1.1	Planteamiento del Problema	2
1.2	Justificación	5
1.3	Objetivos	6
1.3.1	Objetivo General	6
1.3.2	Objetivos Específicos	6
2	Marco Teórico	7
2.1	Estado del Arte	9
3	Metodología	14
3.1	Fase 1: Inventario	16
3.2	Fase 2: Diseño 3D Banda Transportadora	18
3.2.1	Planos de Control Banda Transportadora	20
3.3	Fase 3: Interface de Usuario	23
3.3.1	Diagrama de Flujo del Proceso	24
3.3.2	Programación y Pruebas en Codesys® - LabView®	25
3.3.3	Pruebas de Funcionamiento Módulo Festo®	28
3.3.4	Reprogramar y Rediseñar	29

3.4	Fase 4: Implementación del Sistema	33
3.4.1	Construcción e Instalación del Sistema	33
3.4.2	Validación del Sistema	38
4	Resultados	41
5	Conclusiones	50
	Bibliografía	53
	Anexos	58

Índice de figuras

1-1.	Ensamblaje manual de 5 camiones. Fuente: Autor.	3
1-2.	Banda Transportadora de Cinta desarmada. Fuente: Autor.	4
3-1.	Fases del proyecto y sus actividades. Fuente: Autor.	15
3-2.	Sensores de Reflexión Directa. Fuente: Festo®.	17
3-3.	Diseño 3D Banda Transportadora. Fuente: Autor.	18
3-4.	Ergonomía en Puesto de Trabajo. Fuente: Michigan.	19
3-5.	Diseño 3D por Piezas. Fuente: Autor.	20
3-6.	Conexiones fuente de alimentación. Fuente: Autor.	21
3-7.	Conexiones PLC Entradas Digitales. Fuente: Autor.	22
3-8.	Conexiones PLC Salidas Digitales. Fuente: Autor.	23
3-9.	Diagrama de Flujo del Proceso. Fuente: Autor.	24
3-10.	OPC server Codesys® - LabView®. Fuente: Autor.	28
3-11.	Pruebas Físicas Módulo Festo®. Fuente: Autor.	29
3-12.	Variables Locales PLC Codesys®. Fuente: Autor.	30
3-13.	Variables Globales PLC Codesys®. Fuente: Autor.	31
3-14.	Programación en Ladder Codesys®. Fuente: Autor.	32
3-15.	Interface Preliminar LabView®. Fuente: Autor.	33
3-16.	Construcción y Cableado Panel de Control. Fuente: Autor.	36

3-17.	Sistema de Tiempos Banda Transportadora. Fuente: Autor.	37
3-18.	Construcción Dispensador. Fuente: Autor.	37
3-19.	Descomposición de los Elementos. Fuente: Autor.	38
3-20.	Prácticas 1 y 2 Semiautomática. Fuente: Autor.	40
4-1.	Implementación de la toma de tiempos. Fuente: Autor.	42
4-2.	Implementación Panel de Control. Fuente: Autor.	43
4-3.	Implementación de la toma de tiempos. Fuente: Autor.	44
4-4.	Interface de Usuario SCADA. Fuente: Autor.	45
4-5.	Tabulación Práctica 1. Fuente: Autor.	46
4-6.	Tabulación Práctica 2. Fuente: Autor.	47
4-7.	Promedio de las Prácticas 1 y 2. Fuente: Autor.	48
4-8.	Error Porcentual Práctica 2. Fuente: Autor.	49
5-1.	Datos Cronometrados Manualmente Puesto 1. Fuente: Autor.	58
5-2.	Datos Cronometrados Manualmente Puesto 2. Fuente: Autor.	59
5-3.	Datos Cronometrados Manualmente Puesto 3. Fuente: Autor.	60
5-4.	Datos Cronometrados Manualmente Puesto 4. Fuente: Autor.	61
5-5.	Evidencia de Satisfacción UniBoyacá. Fuente: Autor.	62

Índice de cuadros

3-1. Cronograma. Fuente: Autor.	14
3-2. Sensores, Actuadores y Accesorios. Fuente: Autor.	16

Resumen

En el laboratorio de Ingeniería Industrial de la Universidad de Boyacá, existe una banda transportadora mecánica en desuso, situación que potenció la posibilidad de generar un proyecto que permita ponerla en funcionamiento para desarrollar adecuadamente las prácticas de ensamble manual de un producto de la asignatura de métodos y tiempos. De tal manera que el propósito es automatizarla de acuerdo con las necesidades operacionales y los materiales con los que cuenta el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica.

En este documento se muestran las etapas de diseño, programación, ensamblaje e implementación de un sistema semiautomático para el control y registro de tiempos de trabajo en cuatro estaciones dispuestas en la banda transportadora del Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de Boyacá, sede Tunja.

Este proyecto busca dar un apoyo a la enseñanza del docente por medio de la automatización de la toma de tiempos de cada uno de los puestos de trabajo de la banda transportadora y visualizarlos en una interface de usuario SCADA para su monitoreo, registro y control.

Abstract

In the laboratory of industrial engineering of the University of Boyacá, there is a mechanical conveyor belt in disuse. This situation allowed to generate the possibility of generating a project that allows to put it into operation to develop properly the practices of manual assembly of a product of the subject of methods and times. In this way, the purpose of the present proposal is to automate it according to the operational needs and materials that the Mechatronics Engineering laboratory has.

This document shows the stages of design, programming, assembly and implementation of a semiautomatic system for the control and recording of work times for four stations arranged in the conveyor belt of the Industrial Engineering Program of the University of Boyacá, Tunja.

This project seeks to improve by means of automation, the taking of time in each of the work stations of the conveyor belt and display them in a SCADA user interface for monitoring, recording and control.

Introducción

El estudio de métodos y tiempos es un área especializada de la Ingeniería Industrial, que pretende optimizar el tiempo de producción de un proceso determinado, haciendo uso de los mismos recursos con la consecuente reducción de costos. Este estudio fue desarrollado por Frederick Winslow Taylor en el siglo XIX junto con Frank y Lillian Gilbreth [1], a partir de la observación del desperdicio de tiempo y materia prima por parte de los operarios de una planta cuando se les dio autonomía en la realización de sus actividades, lo cual llamó profundamente la atención de Taylor, permitiéndole desarrollar una teoría denominada “La Administración Científica”, basada en el método científico para resolver estos problemas y obtener la máxima eficiencia. Sin embargo, del método científico solo adopto dos aspectos: la observación de tareas y la medición de tiempos y movimientos [25]. Teniendo en cuenta la importancia de la medición de tiempos, se observa que actualmente en la ciudad de Tunja, la Universidad de Boyacá cuenta con un laboratorio de procesos donde el programa de Ingeniería Industrial realiza simulaciones y prácticas relacionadas con

el ensamblaje de productos. En estas prácticas de laboratorio se realizan tomas y registros de tiempos y posteriormente se procede a analizar la ergonomía del trabajador, tiempo de operación por puesto de trabajo y eficiencia del proceso. Actualmente, el laboratorio cuenta con una banda transportadora de 4 módulos de trabajo, lastimosamente no se encuentra en uso porque no cumple con las necesidades y operatividad requerida [26].

Los estudiantes al desarrollar las prácticas, organizan tres mesas en serie con cuatro puestos de trabajo, en cada uno de ellos se ubica un estudiante que toma tiempos con un cronómetro, se registran en un cuaderno para poder hacer el análisis respectivo posteriormente. Se puede observar en el desarrollo de las prácticas errores en la toma de tiempos, debido a que todo se realiza de forma manual, en el momento de ejecutar el análisis de tiempos y eficiencia del trabajo no se obtienen resultados confiables.

Este trabajo busca dar un apoyo a la enseñanza del docente por medio de la automatización de la toma y registro de tiempos en cada uno de los puestos de trabajo de la banda transportadora.

1.1. Planteamiento del Problema

La Universidad de Boyacá sede Tunja cuenta con un laboratorio de Procesos [26], constituido por unas mesas de trabajo, materiales para el ensamblaje de productos, instrumentos para cronometrar y una banda transportadora en desuso dado que su funcionalidad y operatividad no satisfacen las necesidades del trabajo pedagógico. Este laboratorio tiene como propósito proporcionar herramientas para la enseñanza en las asignaturas de Diseño

y Métodos, Fundamentos de Producción y Learn Manufacturing del programa de Ingeniería Industrial.

Como se observa en la figura 1-1, los estudiantes desarrollan sus prácticas en las mesas de trabajo como emulación del sistema. Actualmente, en cada puesto de trabajo un estudiante debe cronometrar y registrar los tiempos de productividad de cada trabajador, la peculiaridad es que esa toma se realiza manualmente, lo cual hace que no se obtengan resultados precisos al hacer el análisis respectivo.



Figura 1-1: Ensamblaje manual de 5 camiones. Fuente: Autor.

Es importante mencionar que el funcionamiento de la banda transportadora cuando está en servicio es manual (ver figura 1-2), se activaba y desactivaba por medio de un arrancador y un pulsador de emergencia.



Figura 1-2: Banda Transportadora de Cinta desarmada. Fuente: Autor.

Según la literatura en la Ingeniería de Métodos, son muchas las variables que se deben tener en cuenta para realizar un procedimiento sistemático de métodos y medición del trabajo, de ellos para el proyecto según las necesidades planteadas, únicamente se trabajó con el estudio cronometrado del tiempo [19] y ergonomía del trabajador [1]. En la toma de tiempos se manejan los siguientes aspectos: operación, transporte, inspección, espera y almacenamiento, para el caso particular del laboratorio se tuvo en cuenta solamente la operación, transporte [1] y espera ya que se refiere

a un sistema simulado donde se muestra la distribución de los materiales y la parte operativa del ensamblaje del producto por parte del operador, para determinar de esta manera la productividad del proceso. Referente a la ergonomía se toman los parámetros básicos para la distribución de los puestos de trabajo [19].

La forma como en la actualidad se trabaja manualmente este laboratorio, con las cuatro mesas, toma de tiempos y distribución de los materiales, genera deficiencias marcadas en el proceso, motivo por el cual se busca poner en funcionamiento la banda transportadora, automatizándola para que cumpla con algunos de los requerimientos planteados en las referencias bibliográficas. De acuerdo con lo anterior, ¿de qué forma se puede automatizar el sistema de tiempos en cada uno de los puestos de trabajo de la banda transportadora en el laboratorio de procesos de la Universidad de Boyacá, teniendo en cuenta las condiciones de las variables planteadas en forma particular para este proyecto?

1.2. Justificación

La toma de tiempos en la ingeniería industrial y en los procesos industriales, es un factor importante porque sirve para investigar, minimizar y eliminar el tiempo improductivo, es decir, el tiempo durante el cual no se genera valor agregado. Razón por la cual, el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de Boyacá, tiene la necesidad de poner en funcionamiento la banda transportadora y realizar un sistema de toma de tiempos semiautomático, donde el estudiante al finalizar el ensamble del producto en cada una de las cuatro estaciones programadas, deberá oprimir manualmente un pulsador que registrará en un software el tiempo

gastado en la labor. De esta manera, se obtienen datos más confiables que podrían ser utilizados posteriormente para el análisis de resultados.

Uno de los propósitos es tratar de minimizar los errores en la toma de tiempos, estudiando las posibilidades se determinó que el sistema más eficiente es el computarizado [28], por consiguiente, es necesario que en el laboratorio de procesos se implemente un sistema como éste que permita apoyar y mejorar las prácticas académicas de las asignaturas de Diseño y Métodos, Fundamentos de Producción y Lean Manufacturing del programa de Ingeniería Industrial.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema semiautomático de medición de tiempos para los puestos de trabajo de la banda transportadora del Laboratorio de Procesos - Universidad de Boyacá.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Escoger e implementar la instrumentación y actuadores necesarios, empleando elementos disponibles en la Universidad de Boyacá, que no afecten el desarrollo del proyecto.
2. Diseñar e implementar un sistema SCADA, basado en aplicaciones de LabView® y Symbol Factory® a través del protocolo Modbus/TCP y OPC Server.
3. Validar el sistema implementado, haciendo mediciones de tiempo, de conformidad con las personas que usarán el laboratorio de procesos.

Marco Teórico

El estudio de tiempos es una actividad relevante para la industria, actualmente los procesos industriales tienen o deberían tener las siguientes características: Producción en menor tiempo, maquinaria de alta gama, equipos de trabajo de alta calidad, entre otros. Al observar estas características se puede concluir, que, al ser estudiado un trabajador dedicado a su labor, el factor más importante es el tiempo, pero no se deben ni se pueden despreciar otros factores como: la fatiga, transporte, demoras personales y retrasos inevitables. Todos van unidos y si alguno de estos falla, el resultado inevitable es la demora o pérdida de tiempo e ineficiencia del proceso [19].

Actualmente las bandas transportadoras son medios de transporte electromecánicos, usados en varias aplicaciones para mejorar el rendimiento de los procesos, estos sistemas dependiendo de la necesidad pueden automatizarse, entre ellos se encuentran varios ejemplos: aeropuertos para el transporte de maletas, en industrias de bebidas para transportar los enva-

ses. La automatización es un sistema que busca realizar procesos de forma automática sin o con poca intervención de la mano de obra y dependiendo de la necesidad se puede escoger el tipo de controlador. Varias industrias y empresas se apoyan con la lógica programable [27] ya que por medio de un PLC (Controlador Lógico Programable) se realizan secuencias lógicas con base en el funcionamiento y comportamiento del proceso a automatizar.

Los sistemas automáticos van de la mano con las redes de comunicación industrial y las interfaces gráficas de supervisión SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) o HMI (Interfaz Hombre - Máquina), porque ayuda a las empresas y operarios a observar e identificar desde un monitor el buen funcionamiento y los errores que se puedan presentar [18]. Los protocolos para transmitir o recibir trama de datos más utilizados son los CANopen, Profibus, Modbus/TCP (Protocolo de Control de Transmisión), entre otros. Dependiendo del PLC a usar, se escoge el protocolo de comunicación para que los sistemas estén integrados y enlazados correctamente a la red y los datos que se compartan, sean visibles a los entornos de programación e interfaces gráficas [21]. Por medio de la comunicación OPC Server (Control de Procesos de Objetos) [18] para poder transmitir y recibir trama de datos es necesario que el entorno gráfico junto con el PLC estén comunicados y asociados al mismo puerto e ip principal de red para que los datos que sean enviados o recibidos lleguen correctamente a su destino.

Un sistema de automatización está conformado por las redes de comunicación, sistemas de control, supervisión y adquisición, instrumentación y actuadores industriales, adicionalmente un componente importante es el sistema mecánico, hidráulico y neumático. Dependiendo del proceso,

las herramientas más utilizadas para el desarrollo CAD (Diseño Asistido por computador) de los sistemas automatizados son: SolidWorks® [22], AutoCad®, entre otros [23]. Estos software gracias a su gran procesamiento y facilidad de entenderse y usarse, facilitan en tiempo y diseño el desarrollo de un proyecto [29]. Estos programas están desarrollados para realizar planos eléctricos, esquemas, diseños en 3D, etc[30].

2.1. Estado del Arte

Las bandas transportadoras son sistemas de conducción o movimiento de elementos empleados con frecuencia por empresas, fábricas, industrias, entre otras. Esta máquina es muy comercializada y dependiendo del proceso a aplicar es muy versátil para implementar. Se encuentran empresas que las fabrican dependiendo de su aplicación o acción, entre ellas están: De Lorenzo® [2], Festo® [3], Edutelsa® [11]. Cada una maneja sus propias particularidades, unas las fabrican para procesos industriales y otras para la enseñanza en instituciones técnicas.

Actualmente las bandas transportadoras no sólo son medios de transporte mecánicos sino sistemas electromecánicos automáticos con módulos adicionales con el fin de mejorar el tiempo de producción, monitoreo y control del proceso que se esté llevando a cabo.

A continuación, se relacionan algunos de los trabajos de automatización de bandas transportadoras que se han desarrollado en diferentes entornos, buscando suplir las necesidades del medio que las necesita para una implementación específica y que tienen que ver de una manera u otra con la propuesta de trabajo a desarrollar. En la recopilación de la información,

estos son algunos de los avances tecnológicos que se han propuesto en este tema: la empresa RD Beers Technologies SA en Sur África, diseñó un nuevo método por medio de Rayos X para realizar un correcto seguimiento de partículas y evitar pérdidas de material, este sistema utilizó visión artificial aplicando un filtro gaussiano para determinar por medio de píxeles el error en los bordes de las partículas, este error se redujo de 27 píxeles a 7 píxeles en promedio. El método clasificador es robusto para los casos donde hay partículas en el exterior de la correa de la banda transportadora [7], este sistema generó la idea de usar sensores digitales para el monitoreo de los elementos y registro de tiempos para el proyecto; la empresa SINTEF Raufoss Manufacturing AS de Noruega, implementó una banda de cinta e integró un sistema automatizado para costura, con el fin de mejorar la estabilidad del proceso, una de las ventajas es que ambos funcionan independientemente y la cinta se puede adaptar a las necesidades de la parte interactiva del sistema, también la simplicidad de los movimientos, puede ser reemplazado fácilmente por un eje lineal más económico; es una solución industrial que ahorra espacio en una celda de producción, a futuro la empresa mejorará la velocidad de control de la banda transportadora y reducirá el sistema del robot con el fin de sincronizar la máquina de coser a la velocidad de la banda de cinta para estabilizar mejor el proceso de costura [4]. En este proyecto se tuvo en cuenta un sistema interactivo o informático, ya que permite al usuario interrelacionarse con la interface de usuario.

En ciertas instituciones y universidades realizaron algunos prototipos, investigaciones y artículos enfocados a la automatización de bandas transportadoras, por ejemplo: La Universidad de Virginia en India, diseñó, fabricó y validó un prototipo para monitorear y sondear diversos objetos

transportados en una banda de cinta por medio de un PLC MicroLogix marca Allen Bradley® [6], se observa el gran aporte de los sensores infrarrojos y como un controlador lógico programable con las características necesarias para el sistema ayuda en adquirir y controlar de forma automática el sistema de sondeo, la Universidad de Xiamen realizó un estudio demostrando las ventajas entre un controlador PID difuso a uno convencional por medio de un algoritmo en un PLC mostrando el comportamiento de cada uno de los dos controladores aplicados a una banda transportadora con un motor DC, donde se demostró que el controlador difuso funciona mejor que el convencional porque en la parte práctica tuvo una respuesta más rápida y estable [5]. La Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador, diseñó, construyó e implementó un sistema modular didáctico de selección de tapas por color para el laboratorio de automatización, este sistema flexible ayudó a los estudiantes en realizar más montajes sobre el módulo brindándoles la oportunidad de programarlo y configurarlo de varias formas [14], en éste mismo país, otras dos universidades, Técnica Cotopaxi y Tecnológica Equinoccial desarrollaron un controlador de posición por comandos e interruptores desde un PLC Siemens® [13] y una máquina didáctica para procesos de aprendizajes mecatrónicos con el fin de mejorar las prácticas de laboratorio de sus universidades y dar el componente práctico a los estudiantes [12]. En México el Instituto Politécnico Nacional desarrolló dos proyectos relacionados con la automatización de una banda transportadora, uno brinda el diseño de una interface gráfica para controlar los procesos de selección, ensamblaje, clasificación y alineación [9] y el segundo es un módulo didáctico para suministrar el material para los puestos de trabajo [10], al realizar pruebas de validación determinaron un 29% de error en el sistema, el Instituto de Tecnológico de Celaya

desarrolló un modelo de control para una banda transportadora por medio de un PLC y una HMI, este modelo se pudo desarrollar fácilmente gracias al módulo digital que viene incorporado en el PLC para realizar el control y su curva de comportamiento fue estable [8]. En el país se han desarrollado algunos estudios en la materia, dentro de las instituciones que han tratado el tema está La Universidad de Medellín en Colombia, que desarrolló un sistema de control para la detección del estado de maduración del mango [16], la Universidad de Pamplona realizó un prototipo para una banda transportadora, que se controla y monitorea por medio de comunicación inalámbrica [15] y el Instituto Tecnológico Metropolitano implementó un módulo de formación didáctica a través de estructura mecánica y un software para poder realizar prácticas relacionadas con los microcontroladores, visión artificial y automatización [17], se observa que en el país se desarrollan diferentes sistemas utilizando bandas transportadoras, unas con visión artificial para detección de ciertos patrones, texturas, formas y colores y otras implementando diferentes controladores como PLC y microcontroladores.

Lo visto anteriormente muestra máquinas, módulos y prototipos enfocados a suplir las necesidades de procesos industriales, agronómicos, textiles y educativos. Se han utilizado técnicas de control, monitoreo y visualización con un solo fin, mejorar la calidad y rapidez de los procesos en las bandas transportadoras. En el área educativa se observa que se han desarrollado sistemas automatizados con bandas transportadoras enfocadas a la autonomía de procesos de ensamble y selección de piezas, se ve una falencia en la realización de sistemas didácticos en la toma de tiempos automáticos o semiautomáticos como apoyo a los procesos educativos en la ingeniería industrial. A través del discurso del estado del arte se recogieron ideas

valiosas como diferentes tipos de instrumentación y controladores dependiendo de la necesidad a utilizar y herramientas de software para el diseño y programación. Estas ideas servirán de ayuda para el desarrollo de este trabajo.

Metodología

Se plantea su desarrollo en cuatro fases, en las dos últimas es fundamental resaltar la importancia de las pruebas de funcionamiento para determinar errores, hacer las modificaciones y rediseños pertinentes para obtener un sistema que garantice un buen funcionamiento en la toma, monitoreo y registro de tiempos, para que sea aplicado como apoyo a la enseñanza, en el campo de la Ingeniería Industrial de la Universidad de Boyacá. En el siguiente cuadro 3-1, se observa el tiempo de desarrollo de cada fase para poder culminar el proyecto:

CRONOGRAMA					
FASES	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1	■	■			
2		■	■		
3			■	■	■
4				■	■

Cuadro 3-1: Cronograma. Fuente: Autor.

En la figura 3-1 se puede observar las fases del proyecto con sus respectivas actividades:

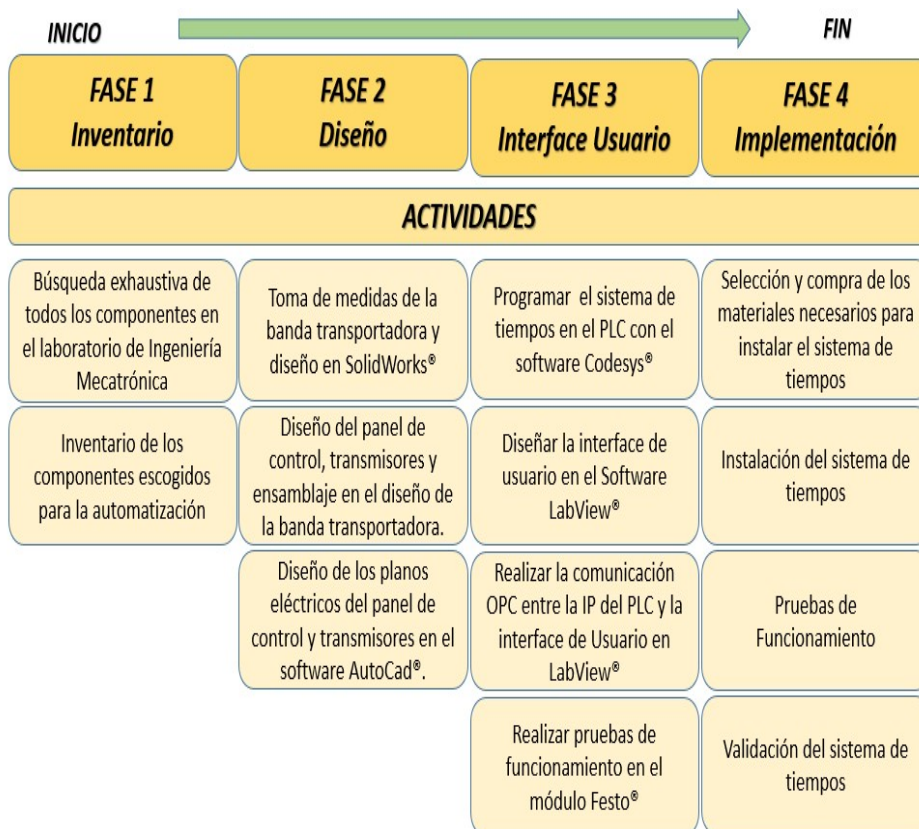


Figura 3-1: Fases del proyecto y sus actividades. Fuente: Autor.

A continuación se muestra el desarrollo de cada una de las fases:

3.1. Fase 1: Inventario

Para el desarrollo de esta fase fue necesario conocer el inventario del laboratorio de automatización del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Boyacá.

Los materiales seleccionados para el desarrollo de este proyecto, se relacionan a continuación:

MATERIALES	CANTIDAD	MARCA [®]
PLC CPX-CEC con Interfaz Ethernet	1	Festo
Sensor de Proximidad Óptico	3	Festo
Unidad de Fibra Óptica tipo Réflex	2	Festo
Electroválvula Biestable de 5/2 Vías con LED	2	Festo
Válvula Neumática de Escape Rápido	1	Festo
Válvula Temporizadora, Normalmente Cerrada	1	Festo
Relevador 24VDC a 110VAC	4	Schneider Electric
Válvula de Cierre con Unidad de Filtro y Regulador	1	Festo
Distribuidor de Aire	1	Festo
Regulador de Flujo Unidireccional	1	Festo
Conector en T	1	Festo
Regulador de Flujo Unidireccional	1	Festo
Borneras Industriales	1	Dexson
Riel Chanel	1	Dexson
Cable AWG 16	1	Centelsa
Interruptor Monofásico 10A	1	Dexson
Fuente Conmutada 24V 4A	1	Dexson
Interruptores (Inicio/Emergencia) e Indicadores 0.02A	11	Dexson

Cuadro 3-2: Sensores, Actuadores y Accesorios. Fuente: Autor.

La Universidad de Boyacá apoyó el proyecto únicamente con los materiales que se encontraban en el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica, abocados a esta circunstancia se hizo esta selección, para el caso de los materiales, accesorios y actuadores se escogen por coincidencia de almacén y en los sensores se tuvo presente los de reflexión directa y barrera tipo reflex porque su rango de medida es de 0.6 m y su tipo de luz es infrarroja, los cuales se adaptan a las dimensiones de la banda transportadora y con el alcance de la instrumentación [31], observe la siguiente figura:

Sensores de reflexión directa SOEG-RT

Hoja de datos

FESTO

Datos técnicos generales							
Tamaño	$\varnothing 4 \times 10^{-3}m$	M5	M12x1	M18x1, recto	M18x1, acodado	20x32x12 $\times 10^{-3}m$	30x30x15 $\times 10^{-3}m$
Variable de medición	Posición						
Principio de medición	Optoelectrónicos						
Alcance $\times 10^{-3}m$	50	70 ... 300	40 ... 600	0 ... 600	10 ... 300	0 ... 600	
Tipo de luz	Infrarroja		Rojo			Rojo	Infrarroja
Posibilidades de ajuste	-		Potenciómetro			Teach-In	Potenciómetro
						Teach-In mediante conexión eléctrica	
Tipo de fijación	Prensado	Con tuerca				Mediante taladros	
Par de apriete $\times 10^{-9}m$	-	1,5	10	20	20	-	

Figura 3-2: Sensores de Reflexión Directa. Fuente: Festo®.

Los otros accesorios como los relés y elementos neumáticos son indispensables para el funcionamiento del sistema, en el caso del cableado, tablero de control, canaletas y fuente se tuvo presente el reglamento RETIE [24] y datasheet Festo® [32].

3.2. Fase 2: Diseño 3D Banda Transportadora

Para seguir en curso con el desarrollo de este proyecto es necesario conceptualizar la banda transportadora por medio del flexómetro y utilizar los métodos de diseño: CAD (Diseño Asistido por Computador), CAE (Ingeniería Asistida por Computador) y CAM (Fabricación Asistida por Computador). En este caso sólo se requiere hacer un levantamiento en 3D, para ello se empleó el método CAD con el software SolidWorks® (ver figura 3-3).

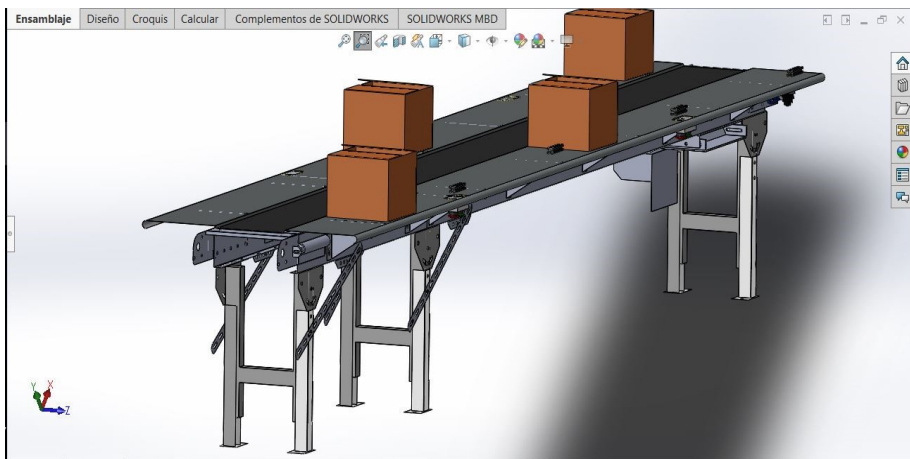
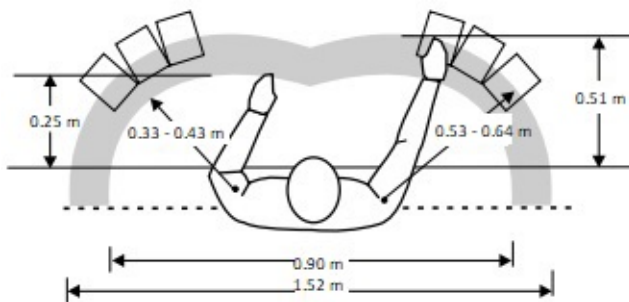


Figura 3-3: Diseño 3D Banda Transportadora. Fuente: Autor.

El diseño preliminar sirve para distribuir los instrumentos, actuadores, accesorios y panel de control sobre y debajo de la banda transportadora. El diseño se orientó bajo los principios de ergonomía. Es bueno resaltar que la ergonomía es el estudio de las condiciones de adaptación de un lugar de trabajo, una máquina, un vehículo, entre otros, a las características físicas y psicológicas del trabajador o el usuario [19]. La ergonomía en

la banda transportadora esta referenciada a los puestos de trabajo, que deben cumplir con las siguientes condiciones: disponer cada uno de ellos de un área de trabajo de 90 a 130 cm de espacio donde el usuario que se dispone en posición de sentado tenga los elementos de trabajo conforme a lo recomendado y observado en la siguiente figura:



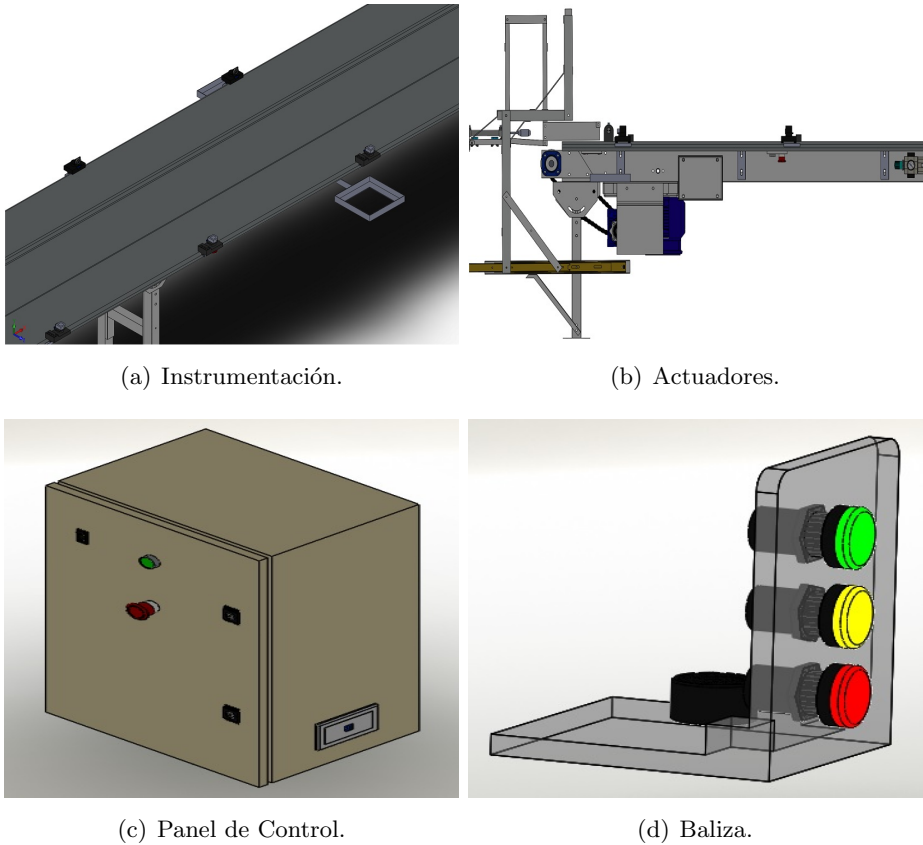
TRABAJO SENTADO

La altura óptima de la superficie de trabajo varía con el rendimiento del trabajo:

Trabajo de precisión:	0.79 m
Mecanografía / montaje ligero:	0.53 m

Figura 3-4: Ergonomía en Puesto de Trabajo. Fuente: Michigan.

Estos criterios permiten diseñar cada uno de los componentes de la banda transportadora que se deben disponer estratégicamente y que se muestran pertinentemente en el diseño en 3D de la figura se presenta a continuación:



(a) Instrumentación.

(b) Actuadores.

(c) Panel de Control.

(d) Baliza.

Figura 3-5: Diseño 3D por Piezas. Fuente: Autor.

El paso a seguir es el ensamble de las piezas, para presentarlo a aprobación ante la Facultad de Ingeniería, el señor decano emitió concepto positivo en forma verbal para que el sistema se implementara.

3.2.1. Planos de Control Banda Transportadora

Para el diseño de los planos de control e instrumentación de la banda transportadora se seleccionó el software AutoCad®, se toma en cuenta la

interruptores, 4 pulsadores y 5 señales digitales de entrada, cada una de éstas organizadas y seleccionadas por pines o direcciones diferentes para su uso adecuado.

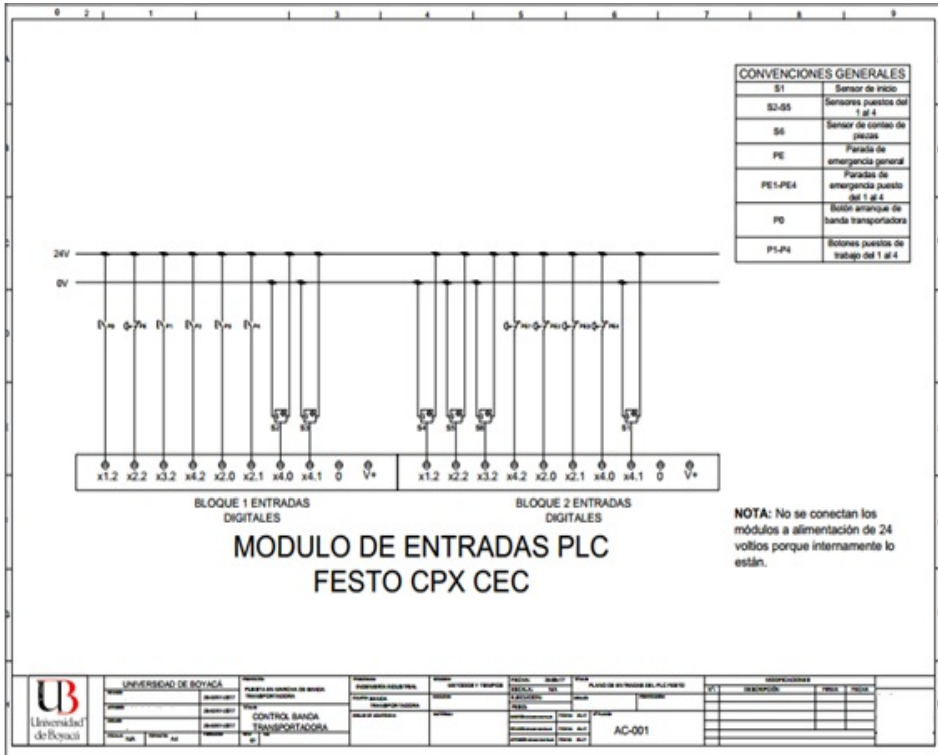


Figura 3-7: Conexiones PLC Entradas Digitales. Fuente: Autor.

En el plano de la figura 3-8 se observa las conexiones de los relevadores 120VAC con sus indicadores y el buzzer que hacen parte de la baliza, la conexión de 24VDC a una electroválvula 5/2 y la conexión al switch 1 24VDC de un variador de frecuencia para el control ON/OFF del motor trifásico.

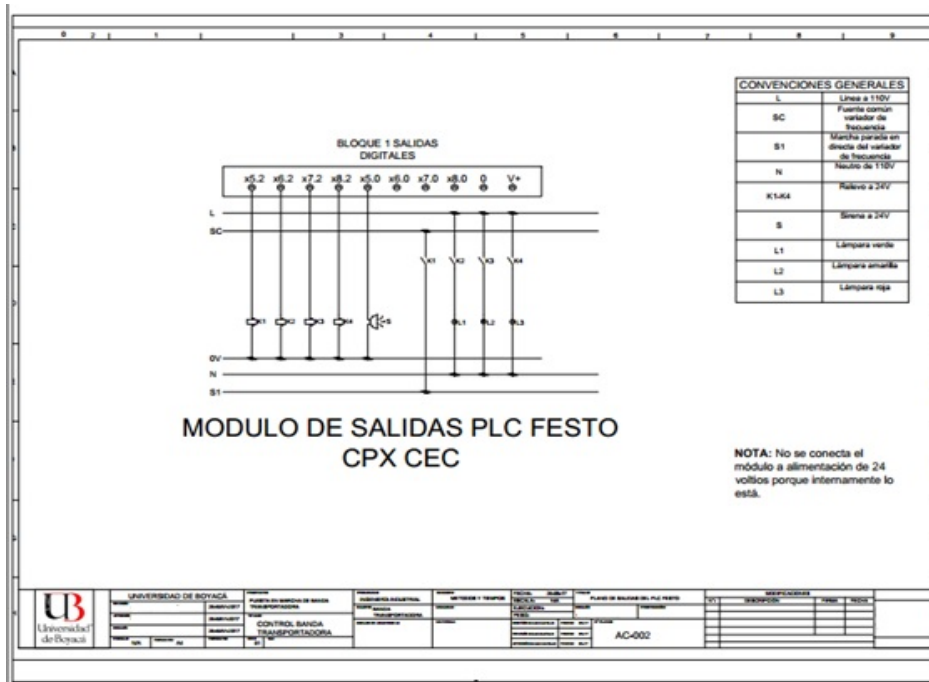


Figura 3-8: Conexiones PLC Salidas Digitales. Fuente: Autor.

3.3. Fase 3: Interface de Usuario

Para el desarrollo de la etapa de programación es importante seguir los siguientes pasos [33]:

1. Conocer el funcionamiento del proceso.
2. Programar y realizar pruebas de funcionamiento en los Software Codesys® y LabView®.
3. Diseño de la interface de usuario en el software LabView®.
4. Realizar pruebas de funcionamiento en físico en el Módulo Festo®.

3.3.1. Diagrama de Flujo del Proceso

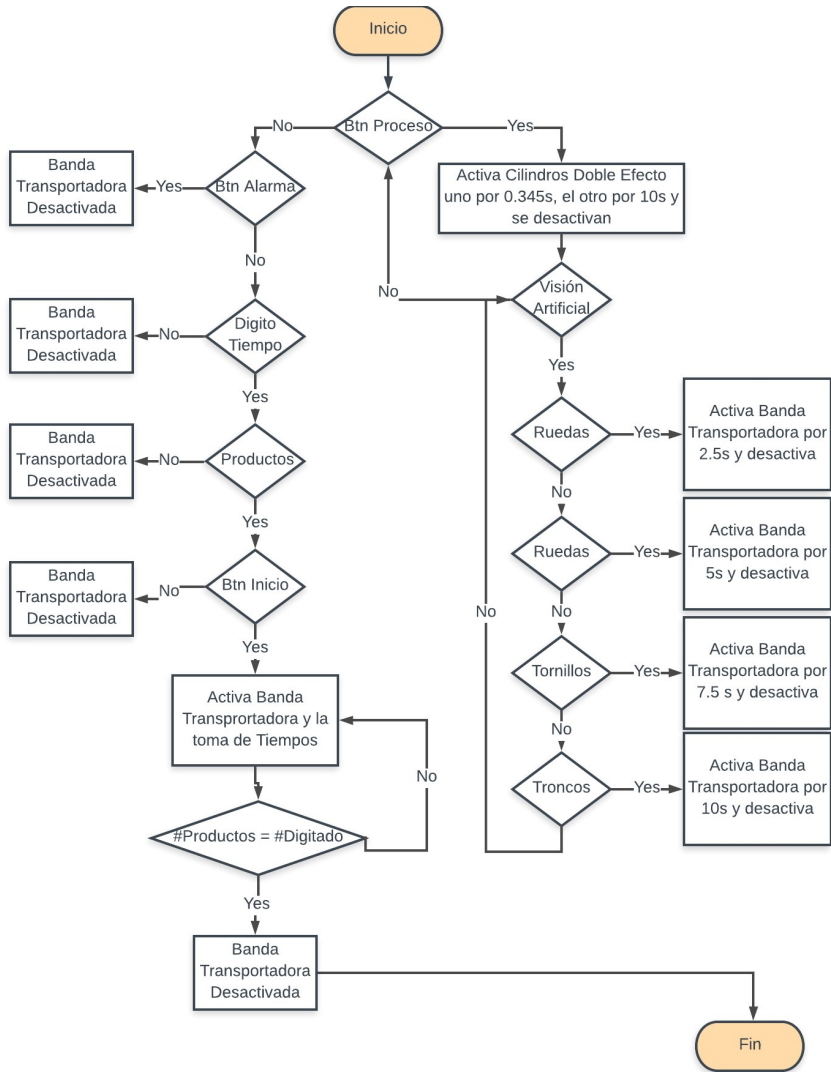


Figura 3-9: Diagrama de Flujo del Proceso. Fuente: Autor.

En la figura 3-11 se puede observar un diagrama de flujo general del control de la banda transportadora y el sistema de toma de tiempos, los cuadros de decisión son fundamentales mencionarlos porque son las variables de entrada del sistema. Cuando estas variables cambian de estado, generan el control ON/OFF para la activación/desactivación de los actuadores, en este caso el arranque de la banda transportadora y el registro de tiempos por cada puesto de trabajo. Es importante resaltar que el sistema SCADA va de la mano con las variables de entrada y de salida porque en la interface de usuario se debe visualizar una simulación del proceso como si fuese real.

3.3.2. Programación y Pruebas en Codesys® - LabView®

Con base en la norma estándar de PLC IEC-61131-3 se selecciona el software Codesys® y el lenguaje de programación Ladder para programar el control de la banda transportadora y el sistema de toma de tiempos. Para llegar a un exitoso desarrollo de programación se deben seguir los siguientes pasos [33]:

1. Programar el proceso en el software Codesys® y realizar pruebas simuladas.
2. Diseñar la interface de Usuario en el software LabView®.
3. Comunicar el protocolo Modbus/TCP y OPC server entre el Codesys® y LabView® y realizar pruebas de funcionamiento simuladas entre los dos.
4. Realizar pruebas de funcionamiento en el Módulo Festo®, observar posibles fallas y solucionarlas.

Es necesario resaltar todos los pasos para que al finalizar el desempeño del sistema sea bueno. En el paso 1 es determinante hablar sobre las variables locales y globales porque ayudan a realizar y entender un orden lógico de programación, en el caso de las variables locales no podrán ser observadas por otro software o lenguaje de programación, contrario a las variables globales que son visibles. Las pruebas simuladas ayudan a ver el comportamiento lógico de la programación y observar fallas.

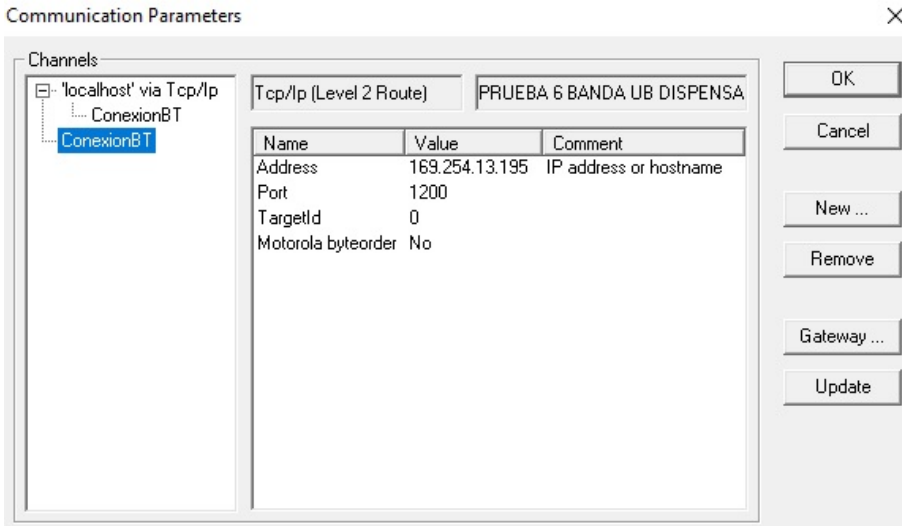
El paso 2 es importante porque es la visualización, registro y control del sistema de tiempos y control, es el terminal de acceso para poder supervisar el proceso desarrollado.

Cuando se cumplen los dos primeros pasos se debe seguir con la comunicación entre la interface de usuario y la programación lógica del PLC, para ello se debe usar el protocolo Modbus/TCP y OPC server ya que son los disponibles por el datasheet del PLC y el software Codesys® [32]. Basándose en el manual de Codesys® 2.3, se deben seguir los siguientes pasos para crear una comunicación acertada [34]:

1. Conocer la IP del PLC y asignar un puerto de acceso.
2. Configurar el OPC config del software Codesys®.
3. Exportar las variables globales del software Codesys®.
4. Asignar las variables globales en el software LabView® por medio del protocolo DSTP.

En la comunicación entre el PLC y la interface de usuario es necesario mencionar que la IP pertenece a la MAC del PLC por defecto y que el

puerto de enlace o acceso es la interfaz de conexión que posibilita compartir recursos. Entendiendo este concepto se utiliza el entorno OPC config de Codesys® para enlazar por medio de la IP el PLC con el LabView®. Se resalta que las variables globales al ser visible para cualquier entorno de programación es importante exportarlas para que éstas puedan tener acceso por medio del protocolo DSTP (Protocolo de transferencia de espacio de datos) el cual permite recuperar los datos exportados desde el OPC server y mostrarlos en LabView®. En la siguiente figura se observan los 4 pasos mencionados para lograr que las variables globales del PLC las pueda ver la interface de usuario:



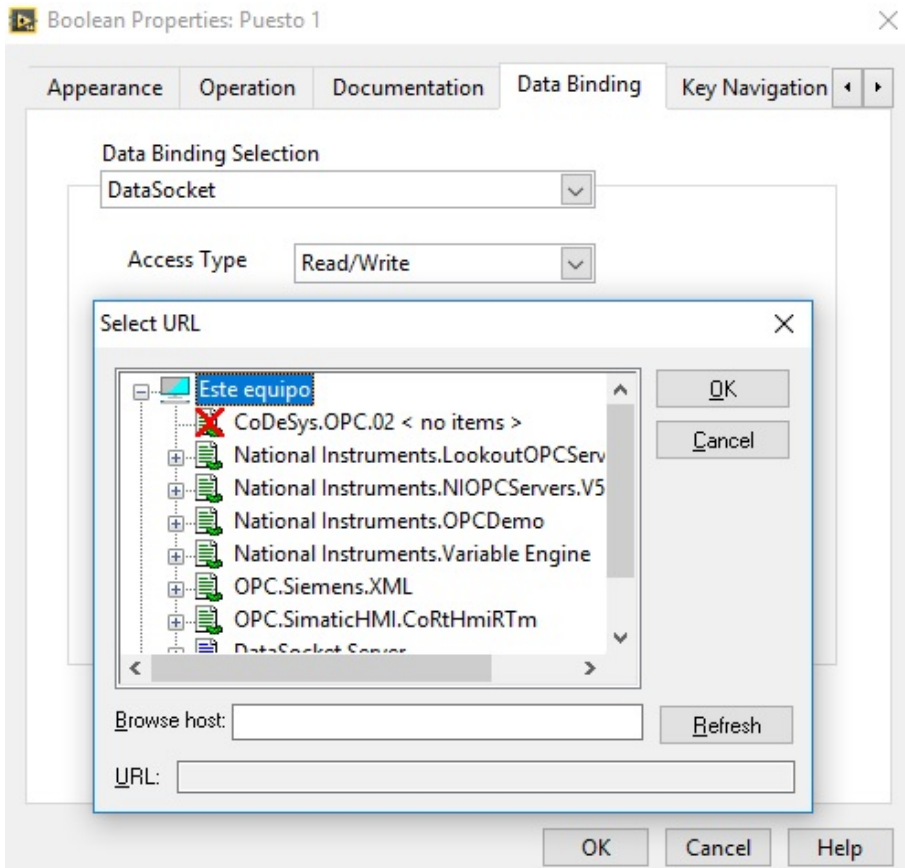
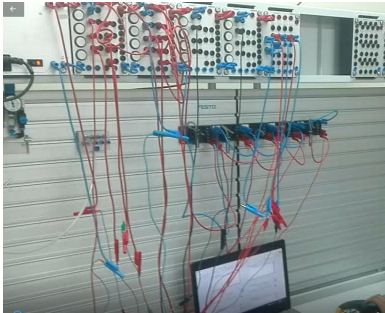


Figura 3-10: OPC server Codesys® - LabView®. Fuente: Autor.

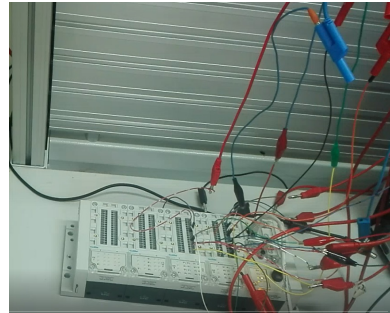
3.3.3. Pruebas de Funcionamiento Módulo Festo®

Para las pruebas de funcionamiento físico se dispone de un Módulo Festo®, materiales como: módulos de triple relé, unidad de indicación y distribución eléctrica, entradas de señales eléctricas y sensores ópticos. El programa de prueba se loguea con el PLC CPX-C1 Festo®. En la figura 3-11 se puede observar la toma de tiempos en el software LabView®, una simu-

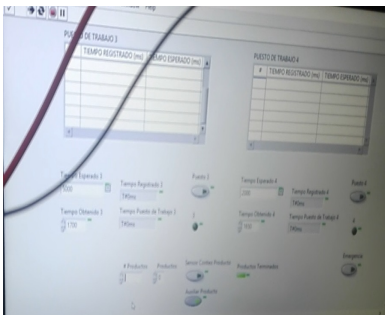
lación de la baliza y el arranque del motor de la banda transportadora:



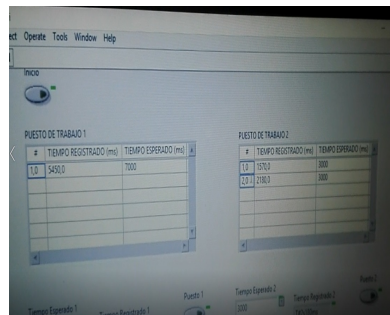
(a) Materiales utilizados.



(b) Conexiones PLC Festo®.



(c) Prueba de Funcionamiento.



(d) Registrando tiempos.

Figura 3-11: Pruebas Físicas Módulo Festo®. Fuente: Autor.

3.3.4. Reprogramar y Rediseñar

Una vez realizadas las pruebas de campo, se debe proceder a reprogramar el PLC y a mejorar el diseño de la interface de usuario según los errores y fallas detectadas.

En la figura 3-12 se observa cada una de las variables locales y memorias internas de los puestos de trabajo, el dispensador, la baliza, el buzzer y el paro de emergencia totalmente organizados y documentados línea a línea

para poder entender cada una de éstas. Estas variables se encargan de la activación de los tiempos por cada puesto de trabajo y activar o desactivar la banda transportadora.

<pre> 0001 PROGRAM PLC_PRG 0002 HR 0003 ----- AUXILIARES GENERALES GUARDAESTADO -----) 0004 0005 Aux1: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 1 General*) 0006 0007 ----- PUESTO DE TRABAJO 1 -----) 0008 0009 Aux2: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 2 Puesto 1 Flanco Subida*) 0010 Aux4: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 4 Puesto 1 Reset ContadorP1*) 0011 Aux3IP1: BOOL = FALSE; (*Auxiliar Sensor 1 Pesto 1*) 0012 ContadorP1: TON; (*Contador Puesto 1 *) 0013 ContadorP1Int.UINT; (*Conversion a Entero El Contador P1 Establecido por la OPC*) 0014 Puesto1Subida: R_TRIG; (*Flanco de Subida Puesto 1*) 0015 Puesto1Bajada: F_TRIG; (*Flanco de Bajada Puesto 1*) 0016 TiempoEstablecidoP1: TIME; (*Tiempo Establecido por la OPC Puesto 1*) 0017 ContadorAuxiliarP1: TON; 0018 ContadorSumaP1: TIME; 0019 0020 ----- PUESTO DE TRABAJO 2 -----) 0021 0022 Aux5: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 5 Puesto 2 Flanco Subida*) 0023 Aux7: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 7 Puesto 2 Reset ContadorP2*) 0024 Aux5P2: BOOL = FALSE; (*Auxiliar Sensor 2 Pesto 2*) 0025 ContadorP2: TON; (*Contador Puesto 2 *) 0026 ContadorP2Int.UINT; (*Conversion a Entero El Contador P2 Establecido por la OPC*) 0027 Puesto2Subida: R_TRIG; (*Flanco de Subida Puesto 2*) 0028 Puesto2Bajada: F_TRIG; (*Flanco de Bajada Puesto 2*) 0029 TiempoEstablecidoP2: TIME; (*Tiempo Establecido por la OPC Puesto 2*) 0030 ContadorAuxiliarP2: TON; 0031 ContadorSumaP2: TIME; 0032 0033 ----- PUESTO DE TRABAJO 3 -----) 0034 0035 Aux8: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 8 Puesto 3 Flanco Subida*) 0036 Aux10: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 10 Puesto 3 Reset ContadorP3*) 0037 Aux5P3: BOOL = FALSE; (*Auxiliar Sensor 3 Pesto 3*) 0038 ContadorP3: TON; (*Contador Puesto 3 *) 0039 ContadorP3Int.UINT; (*Conversion a Entero El Contador P3 Establecido por la OPC*) </pre>	<pre> 0040 ----- PUESTO DE TRABAJO 4 -----) 0041 0042 Aux11: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 11 Puesto 4 Flanco Subida*) 0043 Aux13: BOOL = FALSE; (*Auxiliar 13 Puesto 4 Reset ContadorP4*) 0044 Aux3AP4: BOOL = FALSE; (*Auxiliar Sensor 4 Pesto 4*) 0045 ContadorP4: TON; (*Contador Puesto 4 *) 0046 ContadorP4Int.UINT; (*Conversion a Entero El Contador P4 Establecido por la OPC*) 0047 Puesto4Subida: R_TRIG; (*Flanco de Subida Puesto 4*) 0048 Puesto4Bajada: F_TRIG; (*Flanco de Bajada Puesto 4*) 0049 TiempoEstablecidoP4: TIME; (*Tiempo Establecido por la OPC Puesto 4*) 0050 ContadorAuxiliarP4: TON; 0051 ContadorSumaP4: TIME; 0052 0053 ----- SIRENA -----) 0054 0055 ContadorSirena: TP; (*Contador Sirena Alarma*) 0056 0057 ----- CONTADOR PRODUCTO ENSAMBLADO -----) 0058 0059 ProductoTotal: BOOL; (*Activador Contador Producto Total*) 0060 Puesto5Bajada: F_TRIG; (*Puesto 5 Flanco Bajada*) 0061 Contador: CTU; (*Contador Producto Final*) 0062 Reset_Contador: F_TRIG; (*Flanco Subida Contador Producto*) 0063 0064 ----- DISPENSADOR PUESTOS DE TRABAJO -----) 0065 0066 AuxDispensador: BOOL = FALSE; (*Auxiliar Principal Dispensador*) 0067 ContadorCilindro: TP; (*Contador Cilindro *) 0068 ContadorDispensador: TON; (*Contador Dispensador*) 0069 SeleccionCaja: BOOL = FALSE; (*Selección Caja*) 0070 ActivarCilindro: BOOL = FALSE; (*Activar Cilindro Dispensador*) 0071 MotorBTBajada: F_TRIG; (*Flanco de Bajada Motor BT*) 0072 SRClindro: SR; (*Set Reset Cilindro *) 0073 ResetCilindro: BOOL = FALSE; (*Reset Cilindro*) 0074 ContadorCilindroActivar: TP; (*Contador Cilindro Activar*) 0075 0076 ContadorCajaP1: TP; (*Contador Caja Puesto 1*) 0077 ContadorCajaP2: TP; (*Contador Caja Puesto 2*) 0078 ContadorCajaP3: TP; (*Contador Caja Puesto 3*) </pre>
--	---

(a) Memorias Internas Puesto 1-4. (b) Contadores y Contadores Producto.

Figura 3-12: Variables Locales PLC Codesys®. Fuente: Autor.

En la figura 3-13 se observa el enlace entre algunas variables locales y se guardan en nuevas variables globales, esto con el fin de convertir, mostrar y controlar algunos aspectos de la banda transportadora como los siguientes: controlar el encendido o apagado de la banda transportadora, registrar los tiempos para mostrarlos en una tabla y el tiempo transcurrido en cada puesto de trabajo en el software LabView®.

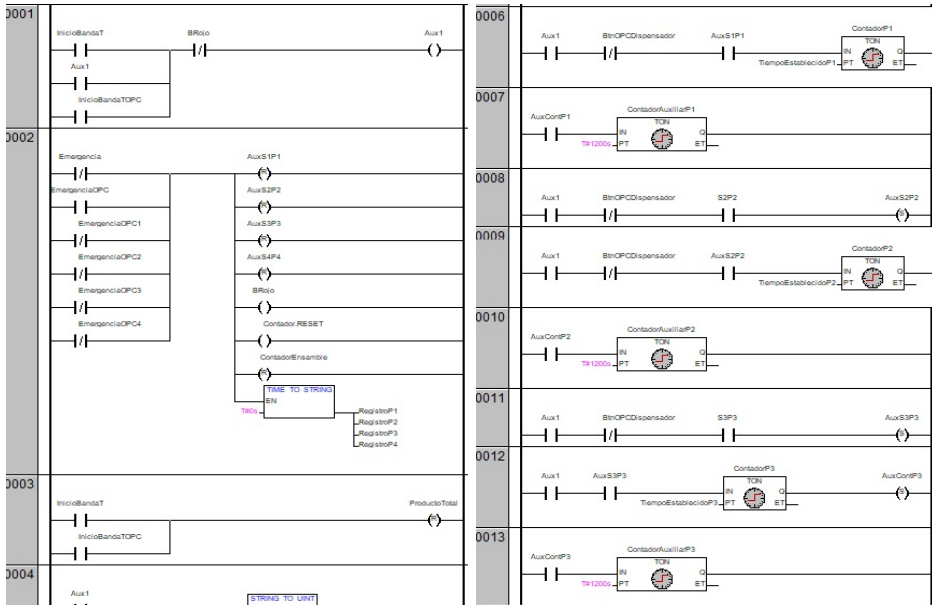
0001	WR_GLOBAL		0049	CONTADOR ENSAMBLE
0002			0050	S5ensamble AT %IX4.2: BOOL := FALSE; (*Sensor 5 Contador Ensamble*)
0003	BALIZAS INDICADORES		0051	Ensamble: BOOL := FALSE; (*OPC Sensor 5 Contador Producto*)
0004			0052	
0005	InicioBanda AT %IX2.0: BOOL := FALSE; (*Bin Físico Inicio Banda Transportadora*)		0053	
0006	EmergenciaOPC: BOOL := FALSE; (*Bin OPC Emergencia*)		0054	PARADAS DE EMERGENCIA
0007	InicioBandaTOPC: BOOL := FALSE; (*Bin Inicio Banda Transportadora*)		0055	
0008			0056	Emergencia AT %IX2.1: BOOL := FALSE; (*Bin Físico Emergencia*)
0009	PUESTO DE TRABAJO 1		0057	EmergenciaOPC1 AT %IX4.3: BOOL:=FALSE; (*Parada de Emergencia OPC puesto 1*)
0010			0058	EmergenciaOPC2 AT %IX4.5: BOOL:=FALSE; (*Parada de Emergencia OPC puesto 2*)
0011	PuestoTrabajo1 AT %IX2.2: BOOL := FALSE; (*Puesto 1 de Trabajo*)		0059	EmergenciaOPC3 AT %IX4.4: BOOL:=FALSE; (*Parada de Emergencia OPC puesto 3*)
0012	ContadorP1String: STRING; (*Contador Puesto 1 Formato String*)		0060	EmergenciaOPC4 AT %IX4.6: BOOL:=FALSE; (*Parada de Emergencia OPC puesto 4*)
0013	TiempoRegistradoP1:UINT; (*Tiempo Registrado Puesto 1*)		0061	
0014	TiempoP1Int: UINT; (*Tiempo Puesto 1 Formato Int*)		0062	FINAL TEMPORIZADOS
0015	TiempoP1: STRING; (*Ind Tiempo Esperado Puesto 1*)		0063	
0016	RegistroP1: STRING; (*Ind Registro Puesto 1*)		0064	AuxConfP1: BOOL; (*Auxiliar Puesto 1 Contador P1*)
0017	SP1 AT %IX2.6: BOOL := FALSE; (*Sensor 1 Puesto 1*)		0065	AuxConfP2: BOOL; (*Auxiliar Puesto 2 Contador P2*)
0018			0066	AuxConfP3: BOOL; (*Auxiliar Puesto 3 Contador P3*)
0019	PUESTO DE TRABAJO 2		0067	AuxConfP4: BOOL; (*Auxiliar Puesto 4 Contador P4*)
0020			0068	
0021	PuestoTrabajo2 AT %IX2.4: BOOL := FALSE; (*Puesto 2 de Trabajo*)		0069	MOTOR TRIFASICO
0022	ContadorP2String: STRING; (*Contador Puesto 2 Formato String*)		0070	
0023	TiempoRegistradoP2: UINT; (*Tiempo Registrado Puesto 2*)		0071	MotorBT AT %IX0.0: BOOL := FALSE; (*Arranque Motor Trifásico*)
0024	TiempoP2Int: UINT; (*Tiempo Puesto 2 Formato Int*)		0072	
0025	TiempoP2: STRING; (*Ind Tiempo Esperado Puesto 2*)		0073	BALIZAS INDICADORES Y SIRENA
0026	RegistroP2: STRING; (*Ind Registro Puesto 2*)		0074	
0027	SP2 AT %IX2.7: BOOL := FALSE; (*Sensor 1 Puesto 2*)		0075	BVerde AT %IX0.1: BOOL := FALSE; (*Baliza Verde*)
0028			0076	BAmarillo AT %IX0.2: BOOL := FALSE; (*Baliza Amarilla*)
0029	PUESTO DE TRABAJO 3		0077	BRojo AT %IX0.3: BOOL := FALSE; (*Baliza Roja*)
0030			0078	Sirena AT %IX0.4: BOOL := FALSE; (*Sirena Emergencia*)
0031	PuestoTrabajo3 AT %IX2.3: BOOL := FALSE; (*Puesto 3 de Trabajo*)		0079	
0032	ContadorP3String: STRING; (*Contador Puesto 3 Formato String*)		0080	CONTADOR PRODUCTO ENSAMBLADO
0033	TiempoRegistradoP3:UINT; (*Tiempo Registrado Puesto 3*)		0081	
0034	TiempoP3Int: UINT; (*Tiempo Puesto 3 Formato Int*)		0082	ConfProducto: BOOL; (*Contador del Producto*)
0035	TiempoP3: STRING; (*Ind Tiempo Esperado Puesto 3*)		0083	RCProducto: BOOL; (*Reset Contador del Producto*)
0036	RegistroP3: STRING; (*Ind Registro Puesto 3*)		0084	T_Produccion: STRING; (*Tiempo Produccion*)
0037	SP3 AT %IX4.0: BOOL := FALSE; (*Sensor 1 Puesto 3*)		0085	RstContador: BOOL := FALSE; (*Reset Contador Producto Final*)
0038			0086	ControlContador: UINT; (*Control Contador Producto Final*)
0039	PUESTO DE TRABAJO 4		0087	IndicadorContador:UINT; (*Indicador Contador Producto Final*)
0040			0088	ContadorEnsamble: BOOL; (*Indicador Contador Terminado*)
0041	PuestoTrabajo4 AT %IX2.5: BOOL := FALSE; (*Puesto 4 de Trabajo*)		0089	

(a) Baliza y Puestos 1-4.

(b) Toma de Tiempos y Emergencia.

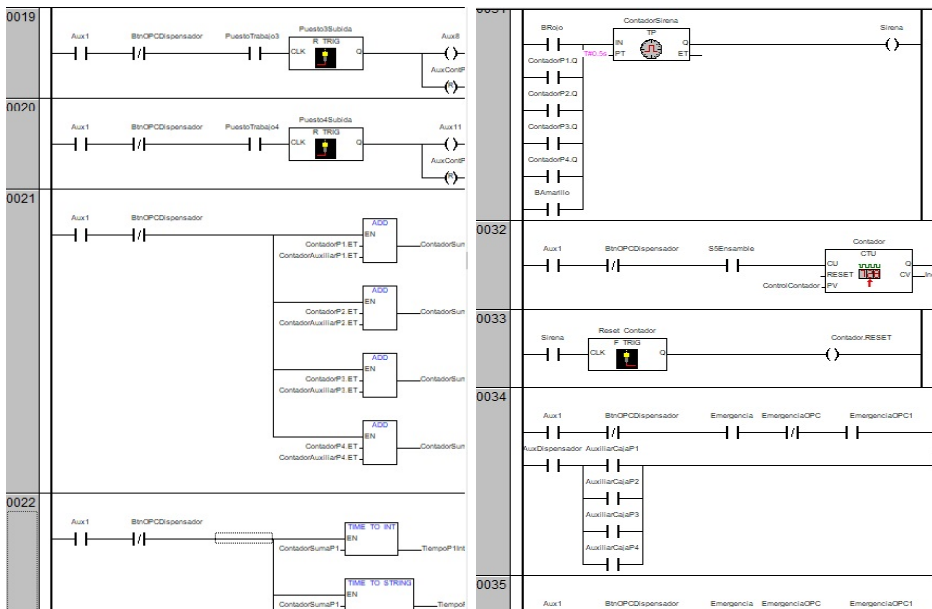
Figura 3-13: Variables Globales PLC Codesys®. Fuente: Autor.

En la figura 3-14 se muestran cuatro imágenes relacionadas con la programación en Ladder desarrollada en el software Codesys®. Esta programación está compuesta por las paradas de emergencia, toma de tiempos, activación ON/OFF de la banda transportadora y del dispensador. Para realizar la toma de tiempos se utilizaron temporizadores por flancos de subida para cada puesto de trabajo, este sistema solo se activa cuando las paradas de emergencia están desactivadas y la comunicación se encuentra conectada. También se utilizan conversores de datos para guardar los tiempos de cada puesto de trabajo para enviar estas variables a la interface de usuario.



(a) Paros de Emergencia.

(b) Contadores de Tiempos.



(c) Toma de Tiempos.

(d) Arranque Motor.

Figura 3-14: Programación en Ladder Codesys®. Fuente: Autor.

Se realizaron modificaciones en la interface de usuario para que sea amigable, entendible y fácil de usar, se desarrolló un sistema SCADA utilizando el software Symbol Factory®. Esta aplicación tiene registro de tiempos, visualización de estados de los sensores como interruptores y control de encendido y apagado de la banda transportadora. En la siguiente figura se puede observar la interface de usuario preliminar:

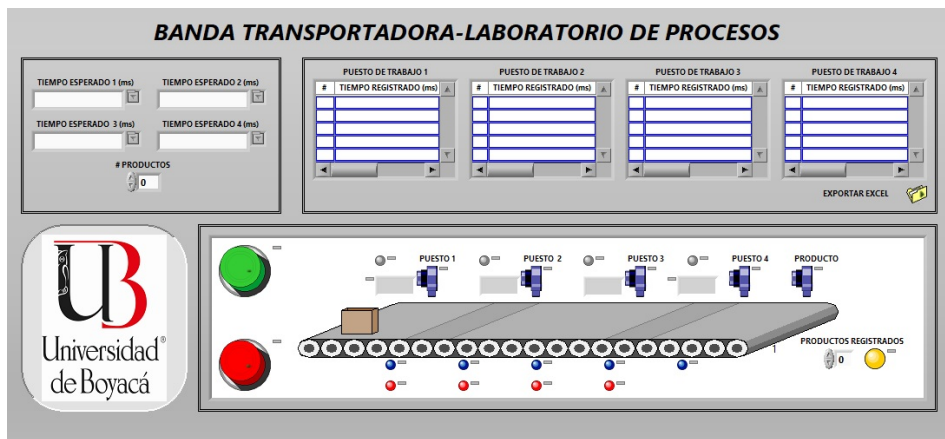


Figura 3-15: Interface Preliminar LabView®. Fuente: Autor.

3.4. Fase 4: Implementación del Sistema

3.4.1. Construcción e Instalación del Sistema

En la implementación del sistema de tiempos con sus respectivos sensores, relés, indicadores, entre otros, se inicia por la construcción del panel de control. Los materiales adquiridos fueron escogidos porque en la Resolución No. 9 0708 de Agosto 30 de 2013, al ser este sistema de baja tensión en la norma RETIE se especifican como debe realizarse la implementación. Se escoge un tablero de control o distribución según la norma IEC 60439-3,

que especifica que el tablero debe tener las siguientes características como mínimo:

- Contenido de cobre mínimo, o tipo de aleación de aluminio.
- Resistencia a la tracción (estado calibrado), mínima.
- Conductividad (estado calibrado), mínima.
- Dureza mínima.
- Ángulo de doblado.
- Módulo de elasticidad o Módulo de Young.

Para la selección del conductor eléctrico se debe tener en cuenta los siguientes factores: corriente nominal de la carga, temperatura ambiente, tensión nominal y factor de potencia, con base en estos factores se utilizan las siguientes ecuaciones para conocer el calibre del conductor y su ampacidad:

$$kW_{1\Theta} = \frac{V_{L-N} I_{AC} F.P}{1000} \quad (3-1)$$

$$I_{AC} = \frac{kW * 1000}{V_{L-N}} \quad (3-2)$$

Utilizando estas ecuaciones se determina la corriente nominal de 4.42A y una potencia de 0.53kW, esto concuerda con la ampacidad de cada uno de los componentes conectados a la línea AC. Por otro lado, en la línea DC se debe conocer la capacidad de corriente que emite y recibe el PLC en sus salidas y entradas digitales, para este cálculo se involucran las variables de la corriente, longitud del cable, caída voltaje nominal del 3% y definir el material del cable, ver la siguiente ecuación:

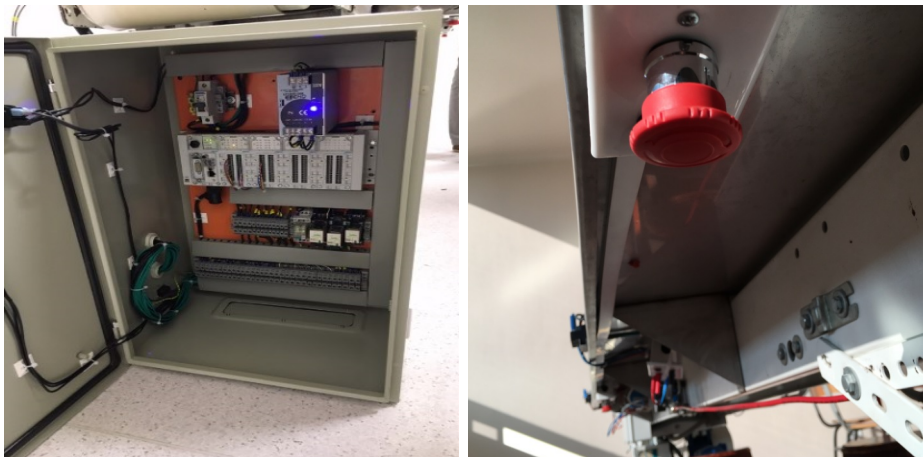
$$\text{Calibre}(mm^2) = \frac{2 * L * I}{56 * \%V} \quad (3-3)$$

El resultado de la ecuación utilizando una carga nominal de corriente de 0.5A, una longitud máxima de 6m, caída de voltaje de 0.72V y material de cobre del 56% es: $0,14mm^2$, basado en la norma NTC2050 se recomienda hacer uso de cable AWG18 en el caso de la línea DC y AC, debido a que este valor está muy cercano a la ampacidad máxima se decide hacer uso de cable calibre AWG16. Para el rotulado de los cables se procede a identificarlos con diferentes letras y nombres memotécnicos para su organización, entendimiento y facilitar la construcción. A continuación, se observan algunas imágenes que muestran el trabajo realizado:



(a) Organización.

(b) Cableado.



(c) Ubicación.

(d) Implementado I/O.

Figura 3-16: Construcción y Cableado Panel de Control. Fuente: Autor.

Después de la implementación del sistema de tiempos con su panel de control, los sensores y actuadores, en la siguiente figura 3-17 se observa una imagen general de cómo quedó la banda transportadora con el sistema

implementado:

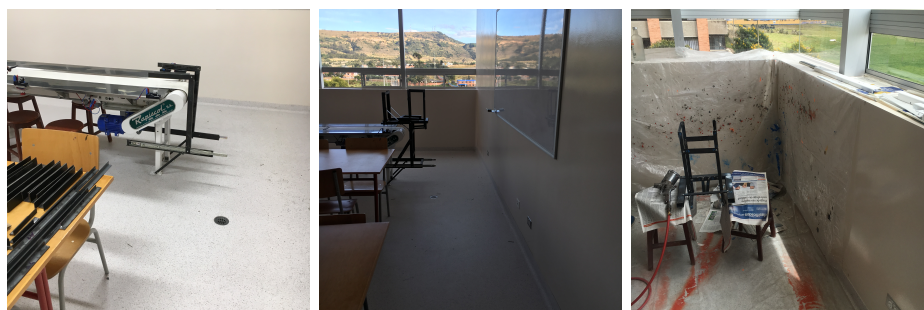


(a)

(b)

Figura 3-17: Sistema de Tiempos Banda Transportadora. Fuente: Autor.

Finalmente, se diseñó una estructura tipo dispensador para la entrega de material didáctico a cada uno de los puestos de trabajo, el procedimiento se observa en la figura 3-18.



(a) Piezas a Ensamblar.

(b) Pruebas de nivelación.

(c) Pintando el Dispensador.

Figura 3-18: Construcción Dispensador. Fuente: Autor.

En seguida se procede a su ensamble, toma de pruebas de nivelación, pintura e instalación en la banda transportadora.

3.4.2. Validación del Sistema

Para la realización de la prueba se tuvo en cuenta el estudio de tiempos y entre sus etapas el cronometraje del trabajo [1]. Esta etapa comprende los procesos de descomposición de la tarea en elementos y cronometraje respectivo.

En la descomposición de los elementos es importante conocer el proceso continuo que se va a desarrollar. Los elementos que conforman las pruebas realizadas son: Elementos repetitivos, manuales y mecánicos. Los dos primeros hacen alusión al ensamble manual y repetitivo en cada uno de los cuatro puestos de trabajo y el tercero al transporte del producto por la banda transportadora [19]. En la siguiente figura se observa el proceso de descomposición de los elementos:

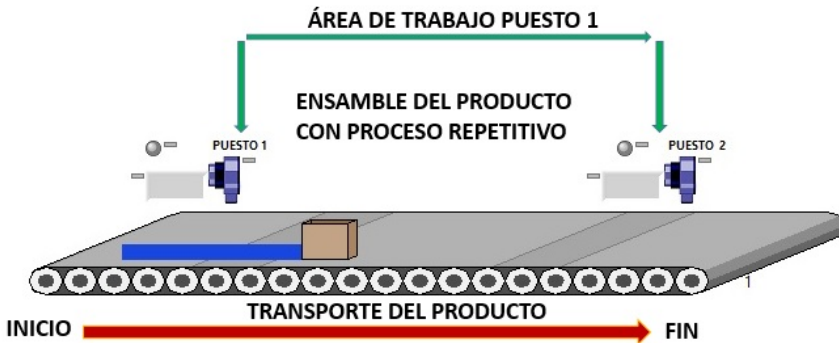


Figura 3-19: Descomposición de los Elementos. Fuente: Autor.

La figura 3-19 define el tiempo estándar por cada puesto de trabajo, esto significa que no solo se debe tomar en cuenta el ensamble manual por cada estudiante sino también el transporte del producto a ensamblar. Teniendo estos conceptos entendidos se realizan 2 prácticas experimentales.

La primera compara la toma de tiempos de forma manual y semiautomática, esto se realiza con el fin de observar y comparar el sistema convencional vs el computacional. Se utilizan cronómetros marca Pascal® y el sistema actualmente implementado para la toma de tiempos.

La primera práctica se realizó de la siguiente forma:

- Para la toma de tiempos manual el estudiante cronometró en 15 pruebas el tiempo de ensamblaje por cada puesto de trabajo.
- En la toma de tiempos semiautomática el sistema cronometró en 15 pruebas el tiempo de ensamble del producto.

La segunda práctica se realizó así:

- Para la toma de tiempos manual el estudiante cronometró en 15 pruebas el tiempo de ensamblaje y transporte por cada puesto de trabajo.
- En la toma de tiempos semiautomática el sistema cronometró en 15 pruebas el tiempo de transporte y ensamble del producto.
- Se cronometró de forma manual y semiautomática el tiempo total del ensamble del producto.

Con estos items y basado en el estudio de métodos, se desarrollaron las prácticas 1 y 2 para dar validez al sistema semiautomático de tiempos, en la siguiente figura y en el anexo A se observa lo mencionado anteriormente:



PUESTO DE TRABAJO 1		PUESTO DE TRABAJO 2		PUESTO DE TRABAJO 3		PUESTO DE TRABAJO 4	
#	TIEMPO REGISTRA $\times 10^{-3}s$	#	TIEMPO REGISTRA $\times 10^{-3}s$	#	TIEMPO REGISTRA $\times 10^{-3}s$	#	TIEMPO REGISTRA $\times 10^{-3}s$
1,0	14210,0	1,0	10510,0	1,0	16220,0	1,0	4160,0
2,0	11800,0	2,0	10010,0	2,0	15850,0	2,0	2890,0
3,0	10810,0	3,0	12850,0	3,0	15380,0	3,0	2230,0
4,0	17670,0	4,0	9880,0	4,0	15620,0	4,0	2110,0
5,0	15240,0	5,0	9770,0	5,0	13380,0	5,0	1760,0

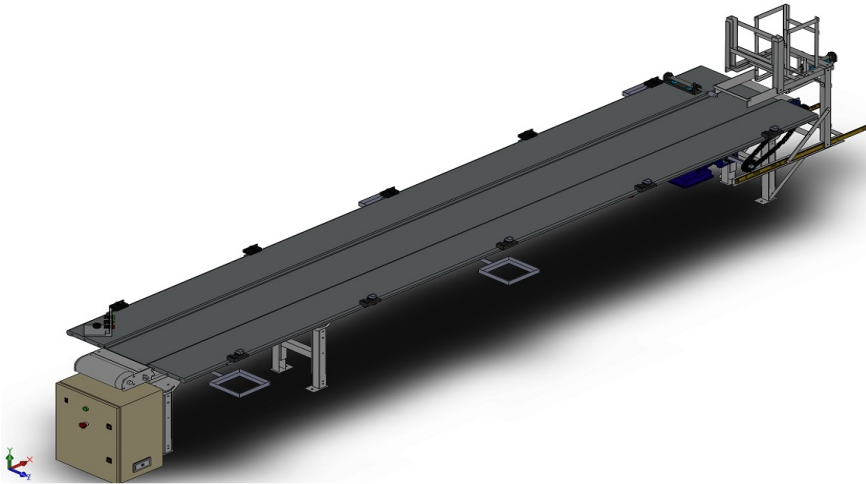
Figura 3-20: Prácticas 1 y 2 Semiautomática. Fuente: Autor.

Se tabuló la toma de tiempos manual y semiautomática para hacer el respectivo análisis del error porcentual de las prácticas desarrolladas.

Resultados

Partiendo de las fases 1,2,3 y 4 desarrolladas durante la elaboración de este proyecto, en las tres primeras se seleccionó el material acorde con los 4 puestos de trabajo de la banda transportadora, a partir del inventario realizado en el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Boyacá, teniendo en cuenta las necesidades del proyecto. Los elementos seleccionados fueron: sensores de reflexión directa, PLC Festo®, electroválvulas biestables, válvulas neumáticas, unidad de mantenimiento y actuadores cilindros doble efecto. Con base en esta selección se hizo un levantamiento altimétrico de la banda transportadora en el software SolidWorks®, el diseño se modificó para integrarlo con el sistema de toma de tiempos y el dispensador (ver figura 3-5). Fue necesario realizar los planos eléctricos los cuales se elaboraron en AutoCAD®, herramienta que permitió distribuir favorablemente los componentes de control e instrumentación (Ver figuras 3-6, 3-7 y 3-8). Estos diseños fueron fundamentales para la implementación del proyecto y su aprobación por parte de la Universidad de Boyacá. En el desarrollo se tuvo en cuenta la distri-

bución ergonómica de los elementos utilizados en la banda transportadora y los espacios en cada uno de los puestos de trabajo, la disposición estratégica de los sensores y actuadores sobre y debajo de ella (Ver figura 4-1).



(a) Diseño



(b) Implementación.

Figura 4-1: Implementación de la toma de tiempos. Fuente: Autor.

En el panel de control de la figura 4-2 se puede ver cada uno de los componentes utilizados en la selección del material, acondicionados bajo la norma RETIE que plantea los parámetros y características de un panel de distribución.



Figura 4-2: Implementación Panel de Control. Fuente: Autor.

Se genera un valor agregado al trabajo, diseñando un sistema dispensador de material para cada puesto de trabajo, en la siguiente figura se muestra su implementación.

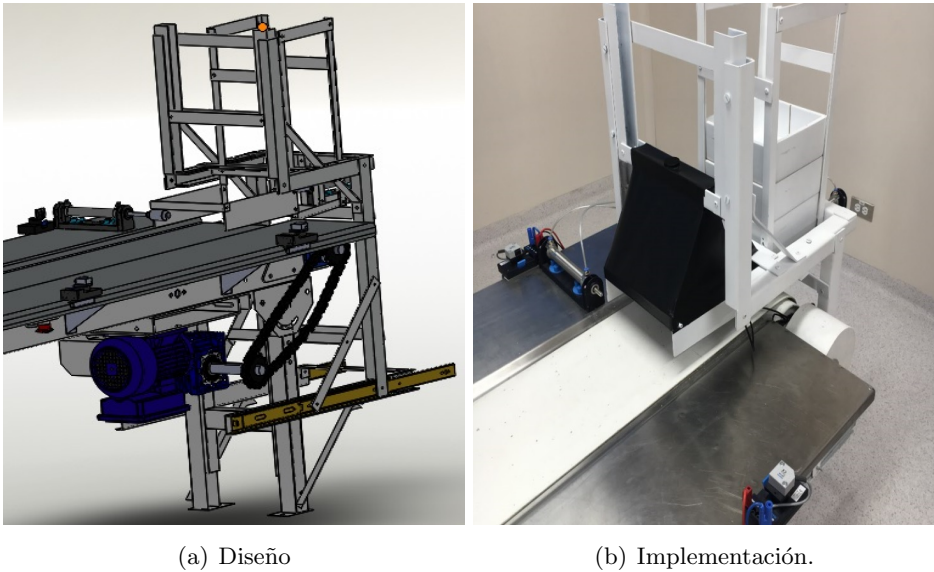


Figura 4-3: Implementación de la toma de tiempos. Fuente: Autor.

Con respecto a la fase 3 se programó una interface de Usuario para el registro de tiempos de cada puesto de trabajo respecto de la distribución de los materiales, ensamblaje del producto por cada operario y entrega final. La interface es manejada por el docente y por los operarios, el primero tiene bajo su responsabilidad programar los tiempos límites por cada puesto, el número de productos a elaborar y el control del proceso, los segundos tienen a disposición los botones que indican la finalización del ensamble registrado por cada puesto y el paro de emergencia cuando se presentan cuellos de botella, es decir que se superan los tiempos establecidos como límite y se acumulan los materiales. Lo anterior se visualiza en tiempo real a través del panel de visión artificial y sistema SCADA, en la siguiente figura se observar la interface de usuario finalmente desarrollada:

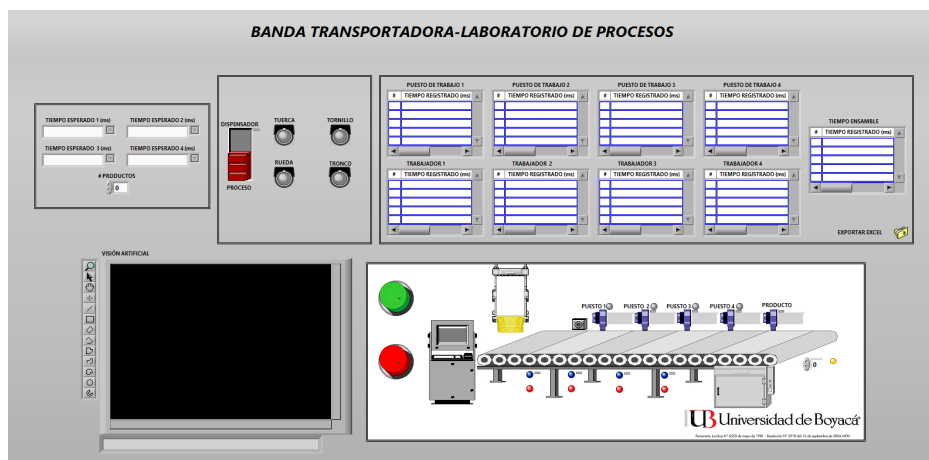


Figura 4-4: Interface de Usuario SCADA. Fuente: Autor.

Una vez desarrollado todo el sistema se procedió a darle cumplimiento a la última actividad de la fase 4 que consta de 2 prácticas cada una de ellas con 15 pruebas de validación, la primera relacionada con los tiempos de ensamble del producto por parte de los operarios y la segunda complementa lo anterior con los tiempos de distribución de los materiales, para confirmar el buen funcionamiento del sistema semiautomático. En la siguiente figura se observan tres barras, la primera tiempo manual (azul), la segunda tiempo automático (naranja) y la tercera tiempo esperado (gris), cada una de éstas corresponden a la tabulación de las 15 pruebas de la toma de tiempos en segundos por cada puesto de trabajo durante la práctica 1. En la figura 4-5 se observa algunas pruebas aleatorias de los resultados obtenidos.

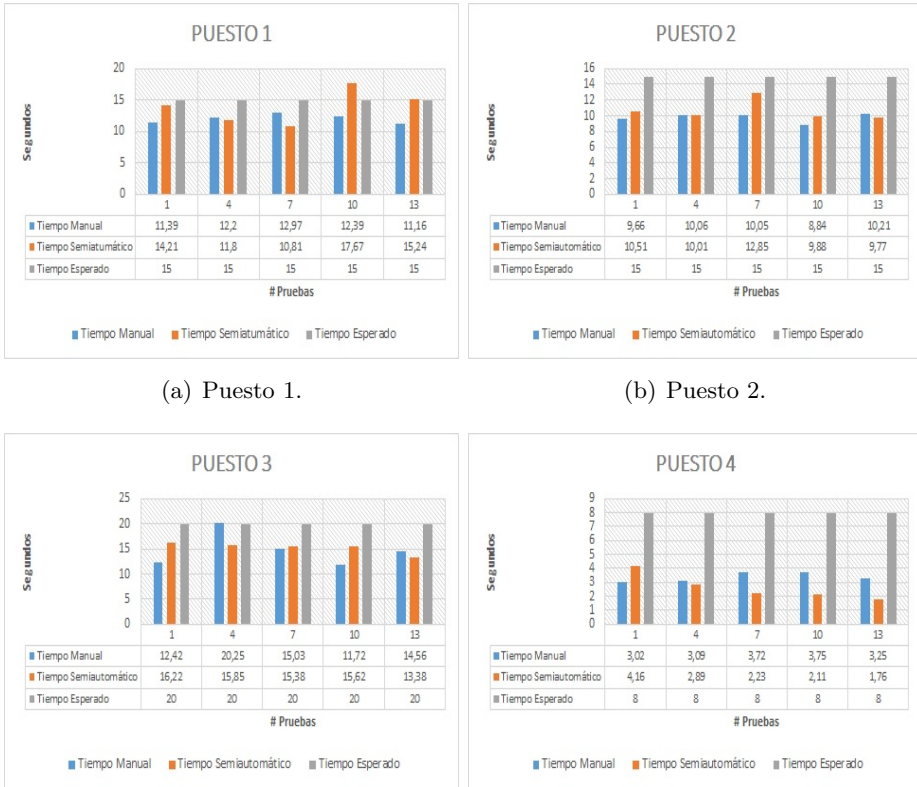
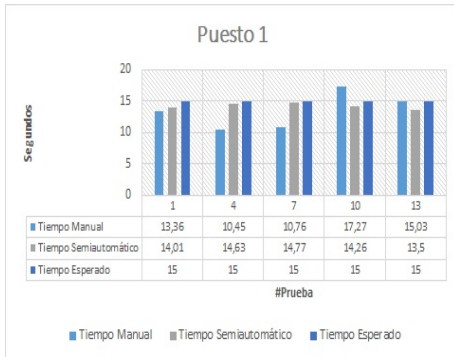
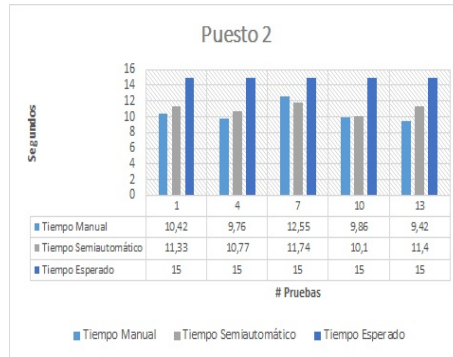


Figura 4-5: Tabulación Práctica 1. Fuente: Autor.

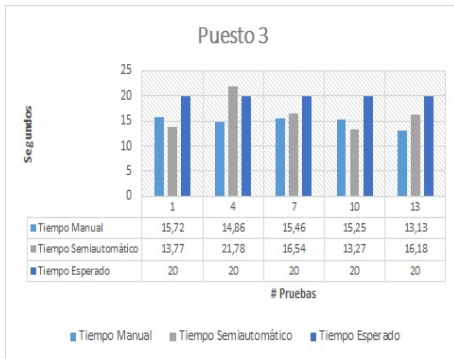
En la figura 4-6 se encuentra el registro de datos de la práctica 2, la primera barra estadística es tiempo manual (azul claro), la segunda tiempo semi-automático (gris) y la tercera tiempo esperado (azul oscuro), los tiempos se muestran a continuación.



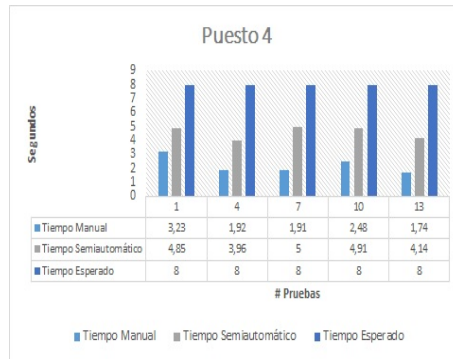
(a) Puesto 1.



(b) Puesto 2.



(c) Puesto 3.



(d) Puesto 4.

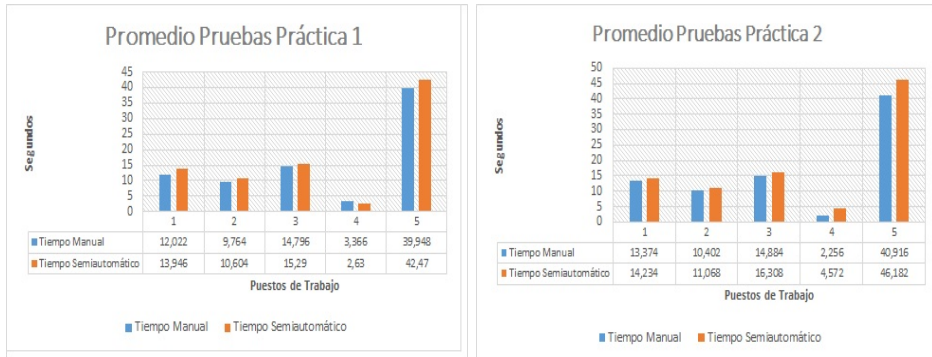
Figura 4-6: Tabulación Práctica 2. Fuente: Autor.

Con base en lo anterior se procede a validar el sistema determinando el porcentaje de error por medio de la siguiente ecuación:

$$\%Error = \frac{ValorExacto - ValorAproximado}{ValorExacto} * 100\% \quad (4-1)$$

Es necesario realizar un promedio ponderado de las pruebas realizadas en las prácticas 1 y 2 para poder aplicar la ecuación y encontrar el porcentaje error del tiempo manual vs el tiempo semiautomático. En la siguiente

figura se ponderan los dos items dando las siguientes gráficas:



(a) Práctica 1.

(b) Práctica 2.

Figura 4-7: Promedio de las Prácticas 1 y 2. Fuente: Autor.

Para determinar los errores porcentuales de las dos prácticas se debe conocer cada uno de los items a evaluar, el valor teórico, se tomó para este caso del dato promedio ponderado de los valores obtenidos por la docente de métodos de la Universidad de Boyacá [36], recogidos en el transcurso de varios años de labor en las prácticas realizadas en el transcurso del ensamblaje de un juguete camión respectivamente, que fue el objeto utilizado también en las pruebas manuales y semiautomáticas desarrolladas, el segundo valor aproximado es el promedio de las 5 pruebas desarrolladas en las practicas 1 y 2. Por lo tanto, los resultados estadísticos de la practica 1 y 2 demuestran que el sistema semiautomático obtuvo un margen de error del 12.8 %, mientras que el sistema manual un 22.8 %, esta prueba demuestra el buen comportamiento del sistema desarrollado vs el manual, en la siguiente figura se determinan los resultados de la práctica 2.

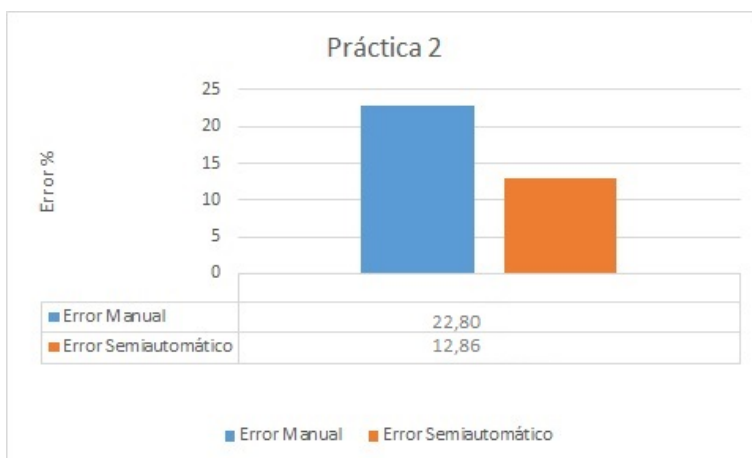


Figura 4-8: Error Porcentual Práctica 2. Fuente: Autor.

Se resalta que el sistema implementado y validado genera un gran apoyo tecnológico para el docente y estudiante, porque ayuda a adquirir y monitorear la toma de tiempos del trabajador y de los puestos de trabajo (Ver Anexo B Carta emitida por decanatura de Ingeniería de la Universidad de Boyacá). Igualmente, la interface de usuario SCADA ayuda a supervisar, detectar errores o estados en los cuales hay emergencias, tabular datos y controlar el encendido o apagado de la banda transportadora.

Conclusiones

El presente trabajo mejoró ostensiblemente una máquina mecánica caída en desuso convirtiéndola en una herramienta tecnológicamente mejorada, valiosa para el trabajo pedagógico en la Universidad de Boyacá y en particular para el Laboratorio de Procesos a través de la automatización de la banda transportadora, guardando los preceptos relacionados con los procesos industriales de mejorar los tiempos de producción disponiendo de maquinaria de alta gama y equipos de trabajo de alta calidad. Por ello se propendió dentro de las posibilidades generadas de poner en funcionamiento este recurso favoreciendo el rendimiento de los procesos planteados frente a la toma de tiempos computarizados, ergonomía en la distribución de los recursos, de los puestos de trabajo de los operarios, manejo y control de la máquina y del sistema por parte del docente y de los estudiantes dentro del concepto de semiautomatización, la presentación de datos en tiempo real dispuestos oportunamente por medio de la interface gráfica, para posteriormente realizar los análisis pertinentes. La interface de usuario SCADA permite visualizar los tiempos realizados en cada uno de los

puestos de trabajo, presentándolos en forma organizada por medio de tablas de datos, útiles para hacer los análisis respectivos. Ésta, por medio de los sensores y la programación realizada permitió minimizar los tiempos muertos del transporte de los materiales a través de la banda transportadora y el tiempo de ensamble del producto en cada puesto de trabajo, mejorando el proceso de aprendizaje en las asignaturas que emplean este sistema para sus prácticas.

El uso de la OPC server y el protocolo Modbus/TCP permitió una comunicación entre el PLC y la interface SCADA, lográndose así una recolección de datos de tiempo de las diferentes estaciones de trabajo. Esto es posible porque una de las características del protocolo es transmitir datos con acuse, es decir que notifica que el mensaje que se está enviando o recibiendo está completo. Esto se hace evidente analizando los datos estadísticos de los promedios ponderados, observando que para el ensamble del producto en el puesto número 1 hay un tiempo límite de 15s, el tomado manualmente fue de 12.02s y el computarizado de 13.94s; para el ensamblaje y distribución del material en la práctica 2 en el mismo puesto se tiene respectivamente: 15s, 13,37s y 14,23s; para el caso del tiempo total del proceso: 58s, 40,91s y 46,18s, comparativamente se puede decir que el tiempo computarizado es mayor que el tiempo manual ya que se presentan menos falencias en sus registros, puesto que en el tomado manualmente hay errores tales como demoras o anticipos al oprimir el pulsador del cronómetro, la distracción, desconcentración, cansancio fuera de otros agentes externos que pueden coincidir, este comportamiento se observa de la misma manera en los puestos de trabajo 2, 3 y en el tiempo total, para el caso particular del puesto 4 como el procedimiento es bastante rápido se nota en la parte manual que el índice de error es mayor. Se

toma como referencia que el valor más cercano al tiempo límite planteado es más acertado.

El proceso de validación y lo planteado anteriormente, permite decir que el sistema semiautomático funciona correctamente, el error porcentual del 12.86 % es un indicador que permite asegurar que la de toma de tiempo digital es funcional comparada con la manual que fue del 22,80 %.

Bibliografía

- [1] G. Kanawaty, “*Introducción al estudio del trabajo.*”p. 100, 156-170, 1996.
- [2] D. L. O. A. Corp, “Banda transportadora didáctica,”2017. [Online]. Available: <http://www.delorenzo.com.mx/>.
- [3] FESTO, “*Estación cinta transportadora,*”2017. [Online]. Available: <http://www.festo-didactic.com/mx-es/learning-systems/técnica-para-escuelas-de-ensenanza-general>.
- [4] J. Schrimpf, “Automated Sewing Using Conveyor Belts.”
- [5] C. Xu-hui, “*Adaptive Fuzzy PID Speed Control of DC Belt Conveyor System,*”W pp. 1-4, 2016.
- [6] D. S. V. S. Vardhan, “Development of an Automatic Monitoring and Control System for the Objects on the Conveyor Belt,”pp. 2-7, 2015.
- [7] A. Voigt, “*Using a Classifier to Track the Edge of a Conveyor,*”pp. 42-47, 2015.
- [8] M. M. Rivera, J. A. L. Chávez, L. W. R. Alvarado, J. L. Quijada, and M. Á. L. Ontiveros, “Automatización de un sistema didáctico

- para estudios de tiempos y movimientos,” *Pist. Educ.*, vol. 38, no. 120, 2016.
- [9] D. Interna, D. R. A. Ruth, and A. Lezama, “*Diseño de una interfaz gráfica para el control de una banda transportadora didáctica*,” 2012.
- [10] M. Lifting, E. N. Base, A. L. Filtro, P. “Diseño y construcción de un módulo didáctico para suministrar material a los sitios de trabajo por medio de una banda transportadora para una industria de manufactura, controlado por un relé lógico programable,” 2015.
- [11] Edutelsa, “*Sistema de entrenamiento en manufactura avanzada*,” 2017. [Online]. Available: <http://edutelsa.com/laboratorio-de-industrial/>.
- [12] D. L. C. Alex, D. Juan, O. Gonzales, and R. Soto, “Implementación de una máquina didáctica clasificadora para el aprendizaje de procesos mecatrónicos,” pp. 41-55, 2017.
- [13] O. S. Minerais, P. Da, and F. Arenosa, “*Diseño y construcción del prototipo de banda transportadora*,” 2010.
- [14] Z. Jijón, L. Alberto, R. Naranjo, D. Andrés, I. H. Lara, and I. M. Tapia, “Diseño e implementación de un sistema de producción modular didáctico para el laboratorio de automatización industrial mecatrónica de la ESPE,” 2013.
- [15] C. M. Durán Acevedo and R. A. Castro Miranda, “*Comunicación inalámbrica basada en tecnología Bluetooth para la automatización de procesos industriales*,” *El hombre y la Máquina*, vol. 39, pp. 26-32, 2012.

- [16] A. Moreno Bermúdez, D. Ballesteros Padilla, G. Sánchez Torres, B. -Atlántico, D. C. -Colombia, and G. -Sánchez Torres Profesor, “Un Prototipo Mecánico para la automatización del proceso de selección del mango tipo exportación,” *Çarrera*, vol. 11, no. 32, pp. 22-8, 2012.
- [17] M. Bustamante, G. Moreno, A. Pelaez, and C. Madrigal, “*Design and Implementation of an Automation Didactic Module focused to Machine Vision and Programmable Logic Control*,” no. 2007, 2014.
- [18] J. Ramos, Gulillermo; Hernández, Jorge; Castaño, *Electrónica Industrial y Automatización*, Tomo 2. 2002.
- [19] B. W. Niebel and A. Freivalds, “*Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*,” p. 23-29, 2009.
- [20] National Instruments, “LabView,” 2017. [Online]. Available: <http://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>.
- [21] 3S-Smart Software Solutions GmbH, “Codesys,” 2017. [Online]. Available: <https://www.codesys.com/>.
- [22] SOLIDWORKS, “SolidWorks,” 2017. [Online]. Available: <http://www.solidworks.es/>.
- [23] Autodesk, “AutoCAD,” 2017. [Online]. Available: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview>.
- [24] M. de M. y Energía, “Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETÍE tabla,” 2013.
- [25] F. Carro and A. Caló, “*La administración Científica de Frederick W. Taylor: Una lectura contextualizada*,” no. 2250-8465, pp. 1-18, 2015.

- [26] U. de Boyacá, “Recurso Logístico del Programa de Ingeniería Industrial,” 2011.
- [27] Gomez Flores Luis B, “*Automatización Industrial Principios y Aplicaciones, in Automatas Programables. La Paz, Bolivia: Luis B Gomez, 2009, pp. 4-5.*
- [28] D. J. de la R. R. M.C.Lázaro Rico, M.C. Aide Maldonado, M.C.Maria Teresa Escobedo, “Técnicas Utilizadas para el Estudio de Tiempos: un Análisis Comparativo, ÇULCyT, no. December 2014, p. 1-5, 2005.
- [29] Z. E. Br. Suarez S., “*Programa Para El Diseño De Las Instalaciones Eléctricas De Las Fábricas Desarrolladas Por Corpivensa, Universidad Central de Venezuela, 2010.*
- [30] J. Eduardo, L. Panchi, M. Armando, and S. Guanoluisa, “Diseño Y Construcción De Una Máquina De Corte Longitudinal Y Transversal De Láminas De Plástico Pvc Con Un Sistema HMI Para La Industria Plástica Brothers,” p. 8, 2014.
- [31] FESTO, “*Sensores SOE, optoelectrónicos,*” 2017.
- [32] FESTO, “Bloque de Control CPX-CEC,” 2017.
- [33] E. G. Moreno, “*Automatización de Procesos Industriales*”. 2001.
- [34] FESTO, “User Manual for PLC Programming with CoDeSys 2.3”. 2010.
- [35] R. Andrea, V. Iniseta, “*Herramienta de apoyo a la enseñanza del estándar IEC 61131 basada en la automatización y simulación de la tercera estación de la planta FESTO® y Siena®,*” 2015.

[36] *A. Paola*, Tiempos Establecidos Camión UB,” 2016.

Anexos

Anexo A:



Personería Jurídica N° 6553 de mayo de 1981 - Resolución N° 2910 del 16 de septiembre de 2004 MEN.

VERIFICACIÓN DE LA TOMA DE TIEMPOS PUESTO 1

# PRUEBA	TIEMPOS REGISTRADOS (s)	TIEMPO ESPERADO (s)
1	11.39	15
2	12.20	15
3	12.97	15
4	12.39	15
5	11.16	15
6	13.36	15
7	10.45	15
8	10.76	15
9	17.27	15
10	15.03	15

Figura 5-1: Datos Cronometrados Manualmente Puesto 1. Fuente: Autor.

VERIFICACIÓN DE LA TOMA DE TIEMPOS PUESTO 2

# PRUEBA	TIEMPOS REGISTRADOS (S)	TIEMPO ESPERADO (S)
1	9.66	15
2	10.06	15
3	10.05	15
4	8.84	15
5	10.21	15
6	10.42	15
7	9.76	15
8	12.55	15
9	9.86	15
10	9.41	15

Figura 5-2: Datos Cronometrados Manualmente Puesto 2. Fuente: Autor.

VERIFICACIÓN DE LA TOMA DE TIEMPOS PUESTO 3

# PRUEBA	TIEMPOS REGISTRADOS (s)	TIEMPO ESPERADO (s)
1	12.42.	20
2	20.25.	20
3	15.03	20
4	11.72.	20
5	14.56.	20
6	15.72.	20
7	14.86	20
8	15.46	20
9	15.25.	20
10	13.13.	20

Figura 5-3: Datos Cronometrados Manualmente Puesto 3. Fuente: Autor.

VERIFICACIÓN DE LA TOMA DE TIEMPOS PUESTO 4

# PRUEBA	TIEMPOS REGISTRADOS (s)	TIEMPO ESPERADO (s)
1	3,02	8
2	3,09	8
3	3,72	8
4	3,75	8
5	3,25	8
6	3,23	8
7	1,92	8
8	1,91	8
9	2,48	8
10	1,74	8

Figura 5-4: Datos Cronometrados Manualmente Puesto 4. Fuente: Autor.

Anexo B:

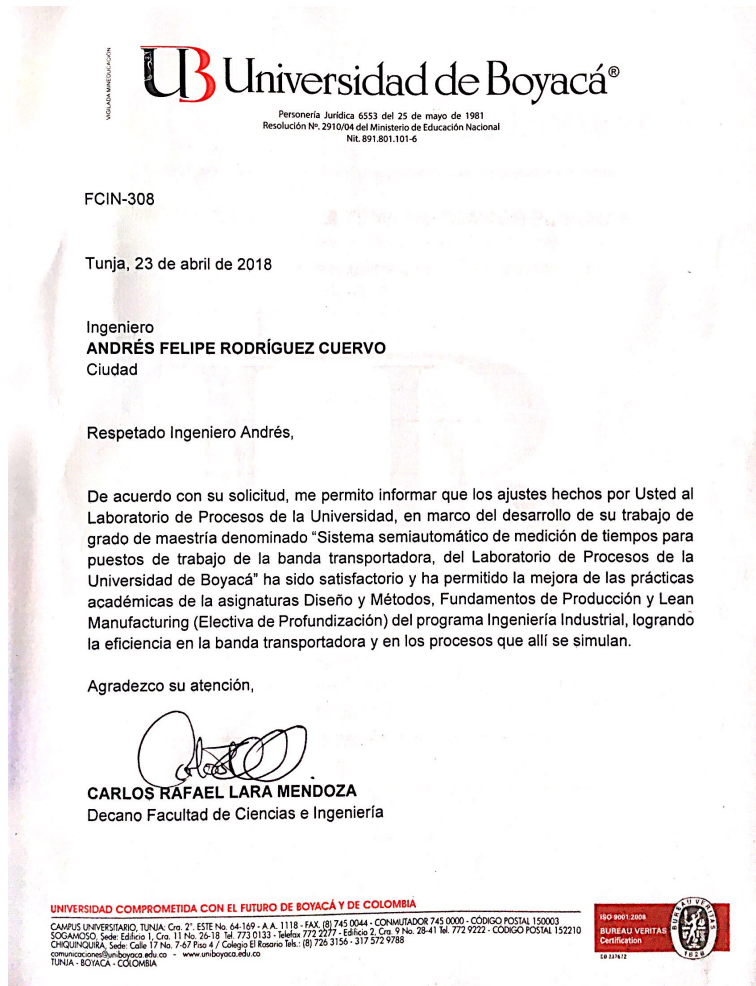


Figura 5-5: Evidencia de Satisfacción UniBoyacá. Fuente: Autor.