



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EN EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN Y ENVASADO
DE LÍQUIDOS”**

AUTOR

JAVIER ANDRÉS RODRÍGUEZ BERMÚDEZ

TUTOR

ING. SAMUEL BALDOMERO BUSTOS GAIBOR, MSc

LA LIBERTAD – ECUADOR

2016

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y mis padres por darme la vida, en especial a mi primo Nacho por saberme guiar y proveer los recursos necesarios para cumplir con la finalización de este trabajo.

A todo el personal administrativo y docente de la facultad por compartir sus conocimientos y experiencias durante todos los años de carrera hasta culminar con la misma.

A mis compañeros por la ayuda, y las vivencias que aportaron a mi formación como profesional.


Al Ing. Samuel Bustos, tutor de este trabajo de titulación, por su ayuda y enseñanzas.

Javier Andrés Rodríguez Bermúdez


APROBACIÓN DEL TUTOR


En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación denominado, “**APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN Y ENVASADO DE LÍQUIDOS**”, elaborado por el estudiante **RODRÍGUEZ BERMÚDEZ JAVIER ANDRÉS**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, Octubre del 2016

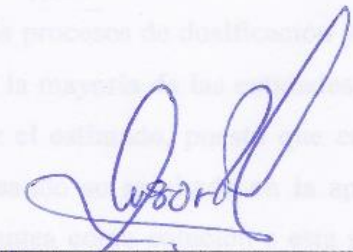

Ing. Samuel Bustos Gaibor, MSc.
PROFESOR TUTOR


Ing. Carlos Saldaña Enderico, MSc.
PROFESOR DE ÁREA


.....
Ing. Samuel Bustos Gaibor, MSc


SECRETARÍA GENERAL

TRIBUNAL DE GRADO



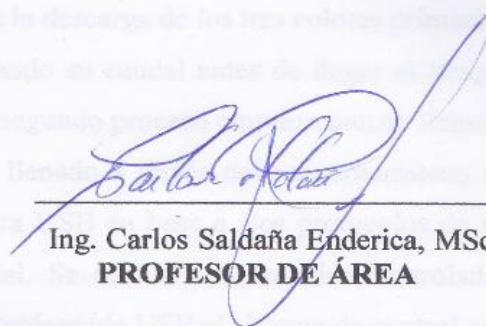
Ing. Walter Orozco Iguasnia, MSc.
DECANO DE FACULTAD



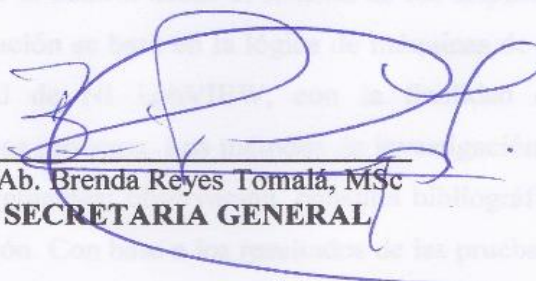
Ing. Washington Torres Guin, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Samuel Bustos Gaibor, MSc.
PROFESOR TUTOR



Ing. Carlos Saldaña Enderica, MSc.
PROFESOR DE ÁREA



Ab. Brenda Reyes Tomalá, MSc.
SECRETARIA GENERAL

RESUMEN

Los procesos de dosificación y envasado de líquidos se ejecutan de forma manual en la mayoría de las entidades que se dedican a esta labor y el resultado no suele ser el estimado, puesto que en ambos procesos se deja esta función al operario basando su resultado en la apreciación de la vista humana de cada usuario. Se plantea como solución a esta necesidad la implantación de un sistema de control ON/OFF y una aplicación de visión artificial por ordenador, la propuesta consta de dos procesos; el primero trata sobre la mezcla de colores controlada y monitorizada por un sistema SCADA capaz de obtener nueve tonalidades de colores basados en el modelo de color RGB, comenzando con la descarga de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) y en paralelo verificando su caudal antes de llegar al tanque dosificador que homogeniza la mezcla, el segundo proceso empieza con el llenado y finaliza con la detección del nivel del llenado a través del reconocimiento de patrones previamente definidos vía cámara USB en base a los protocolos de un sistema de inspección por visión artificial. Se cuenta con un microcontrolador ATmega2560 que es el encargado de comunicar vía USB el sistema de control con los elementos de entrada (interruptores, pulsadores y sensores) y en conjunto a una etapa de potencia permite el control desde el sistema de los dispositivos de salida (actuadores), la programación se basa en la lógica de máquinas de estados finitos mediante el lenguaje G de NI LabVIEW, con la finalidad de obtener la industrialización de los dos procesos. Los métodos de investigación empleados en esta propuesta son los siguientes; observación, consulta bibliográfica, consulta a expertos y experimentación. Con base a los resultados de las pruebas realizadas se concluye que el sistema cuenta con una eficiencia del 90%.

ABSTRACT

The processes of dosing and liquid packaging are performed manually in most entities engaged in this work and the result is usually not estimated, since in both processes this function the operator basing its result is left in the appreciation of human view of each user. Is proposed as a solution to this need by implementing a system ON / OFF control and artificial application of computer vision, the proposal consists of two processes; the first deals with color mixing controlled and monitored by a SCADA system capable of obtaining nine shades of colors based on the RGB color model, starting with the discharge of the three primary colors (red, green and blue) and parallel checking its flow before reaching the dosing tank homogenizes the mixture, the second process starts with filling and ends with the detection of fill level through the recognition of previously defined patterns via USB camera based on the protocols of an inspection system by artificial vision. It has a ATmega2560 microcontroller which is responsible for communicating via USB control system with input elements (switches, buttons and sensors) and set to a power amplifier allows control from the system output devices (actuators), programming is based on the logic of finite state machines through language G of NI LabVIEW, in order to obtain the industrialization of the two processes. The research methods used in this proposal are as follows; observation, bibliographic consultation, expert consultation and experimentation. Based on the results of tests it concluded that the system has an efficiency of 90%.

TABLA DE CONTENIDOS

ITEM	PÁGINA
El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.	
DE GRADO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
DECLARACIÓN	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
INDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE TABLAS	XI
Javier Andrés Rodríguez Bermúdez	
LISTA DE ANEXOS	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTACIÓN	2
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
1.5 METODOLOGÍA	5
CAPÍTULO II: LA PROPUESTA	7
2.1 MARCO CONTEXTUAL	7
2.1.1 DELIMITACIONES GENERALES	7
2.1.2 DELIMITACIONES ESPECÍFICAS	7
2.1.3 DELIMITACIONES DEL PANEL DE CONTROL	8
2.2 MARCO CONCEPTUAL	8
2.2.1 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN	8
2.2.2 SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL	10
2.2.3 MÁQUINAS DE ESTADOS FINITOS	12
2.3 MARCO TEÓRICO	12
2.4 COMPONENTES DE LA PROPUESTA	16

TABLA DE CONTENIDOS

ITEM	PÁGINA
AGRADECIMIENTO	I
APROBACIÓN DEL TUTOR	II
TRIBUNAL DE GRADO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
DECLARACIÓN	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
LISTA DE ANEXOS	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTACIÓN	2
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
1.5 METODOLOGÍA	5
CAPITULO II: LA PROPUESTA	7
2.1 MARCO CONTEXTUAL	7
2.1.1 DELIMITACIONES GENERALES	7
2.1.2 DELIMITACIONES ESPECÍFICAS	7
2.1.3 DELIMITACIONES DEL PANEL DE CONTROL	8
2.2 MARCO CONCEPTUAL	8
2.2.1 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN	8
2.2.2 SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL	10
2.2.3 MÁQUINAS DE ESTADOS FINITOS	12
2.3 MARCO TEÓRICO	12
2.4 COMPONENTES DE LA PROPUESTA	16

2.4.1 COMPONENTES DE HARDWARE	16
2.4.2 COMPONENTES DE SOFTWARE	27
2.5 DISEÑO DE LA PROPUESTA	30
2.5.1 DISEÑO ELÉCTRICO	30
2.5.2 DISEÑO DE LA PROGRAMACIÓN	34
2.6 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	48
2.6.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA	48
2.6.2 FACTIBILIDAD FINANCIERA	49
2.6.3 FACTIBILIDAD OPERATIVA	50
2.7 PRUEBAS	51
2.7.1 PRUEBA 1	51
2.7.2 PRUEBA 2	52
2.7.3 PRUEBA 3	53
2.7.4 PRUEBA 4	55
2.7.5 PRUEBA 5	56
2.7.6 PRUEBA 6	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

ITEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Figura 1	Bomba de diafragma FLO-2202a: Singflo	17
Figura 2	Válvula solenoide 2P025-08: NMPC	18
Figura 3	Sensor de flujo YF-S201: YIFA	19
Figura 4	Final de carrera MSW-03: Jietong	20
Figura 5	Motor Shinano Kenshi IG-842-513	21
Figura 6	Motor cc RS385-ST: Jameco	21
Figura 7	Motor cc ND 062500-343	22
Figura 8	Cámara web USB Apexa st-cam030: Apex	23
Figura 9	Botoneras: Dirind	23
Figura 10	Disyuntor 5SX1 232-6: Siemens	24
Figura 11	Tarjeta controladora Mega 2560: Arduino	25
Figura 12	Módulo de relés 8 canales: Fabricante	26
Figura 13	Fuente de alimentación S-360-12: Fabricante	27
Figura 14	Inicialización de LabVIEW	27
Figura 15	Navegador de Imágenes DSC	28
Figura 16	Ni Vision Acquisition Express	28
Figura 17	Ni Vision Assistant	29
Figura 18	IDE Arduino	29
Figura 19	Arduino y LabVIEW	30
Figura 20	Diagrama de fuerza actuadores de corriente alterna	31
Figura 21	Diagrama de fuerza actuadores de corriente directa	31
Figura 22	Diagrama de fuerza motor inyector	31
Figura 23	Diagrama de control interruptor	32
Figura 24	Diagrama de control sensores de caudal	33
Figura 25	Diagrama de control de salida	33
Figura 26	GRAFCET selección de modos	34
Figura 27	LabVIEW selección de modos	35
Figura 28	GRAFCET de selección de modos y puesta en marcha	35
Figura 29	LabVIEW tiempo de activación de actuadores	36
Figura 30	LabVIEW obtención del valor de caudal litros/min	36
Figura 31	Etapas 101 GRAFCET descarga color rojo	37
Figura 32	Etapas 102 GRAFCET descarga color rojo	37
Figura 33	Etapas 103 GRAFCET descarga de color verde	38
Figura 34	GRAFCET descarga color verde	38
Figura 35	Etapas 105 GRAFCET descarga color azul	38
Figura 36	Etapas 106 GRAFCET descarga de color azul	39
Figura 37	GRAFCET de descarga de colores primarios	39
Figura 38	LabVIEW descarga de color rojo 4s	39
Figura 39	GRAFCET de mezclado	40
Figura 40	LabVIEW etapa de mezclado	41
Figura 41	GRAFCET Inyector bajada	41

Figura 42	GRAFCET accionamiento de actuadores de llenado	42
Figura 43	GRAFCET inyector subida	42
Figura 44	GRAFCET de llenado de envase	42
Figura 45	LabVIEW llenado de envase	43
Figura 46	GRAFCET banda transportadora	43
Figura 47	LabVIEW banda transportadora	44
Figura 48	GRAFCET de detección del nivel de llenado	45
Figura 49	LabVIEW reconocimiento de patrones	45
Figura 50	GRAFCET Repetir color	46
Figura 51	GRAFCET alimentación de líquido limpiador	46
Figura 52	GRAFCET Limpieza a través del agitador	46
Figura 53	GRAFCET de vaciado del tanque mezclador	47
Figura 54	GRAFCET Repetir o nuevo color	47
Figura 55	LabVIEW Repetir o nuevo color	48
Figura 56	LabVIEW programación prueba 1	51
Figura 57	LabVIEW programación prueba 2	53
Figura 58	LabVIEW programación de prueba 3	54
Figura 59	LabVIEW programación de prueba 4	55

ÍNDICE DE TABLAS

ITEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 1	Datos técnicos bomba de diafragma: Singflo	17
Tabla 2	Parámetros técnicos válvula solenoide: NMPC	18
Tabla 3	Especificaciones técnicas sensor de caudal: YIFA	19
Tabla 4	Datos técnicos sensor final de carrera: Jietong	19
Tabla 5	Especificaciones técnicas motor IG-842-513: Shinano Kenshi	20
Tabla 6	Especificaciones técnicas motor RS385-ST: Jameco	21
Tabla 7	Datos técnicos motor cc ND 062500-343	22
Tabla 8	Especificaciones técnicas Apexa st-cam030: Apex	22
Tabla 9	Características Disyuntor 5SX1 232-6: Siemens	24
Tabla 10	Especificaciones técnicas del controlador: Arduino	25
Tabla 11	Características de tarjeta de potencia: Fabricante	26
Tabla 12	Especificaciones fuente de alimentación: Fabricante	26
Tabla 13	Recursos de hardware disponibles	48
Tabla 14	Costos de planta	49
Tabla 15	Costos de control	50
Tabla 16	Inversión total para la implementación del sistema	50
Tabla 17	Resultados de prueba 1	52
Tabla 18	Resultados de prueba 2	53
Tabla 19	Resultados de prueba 3	54
Tabla 20	Resultados de prueba 4	56
Tabla 21	Resultados de prueba 5	57
Tabla 22	Resultados de prueba 6	58

LISTA DE ANEXOS

N.-	DESCRIPCIÓN
1	Diagrama de Fuerza
2	Diagrama de control elementos de entrada
3	Diagrama de control elementos de salida

INTRODUCCIÓN

En la industria existen variedad de procesos dependiendo del producto final a obtener, el producto se lo consigue a través de actividades repetitivas desarrolladas por los trabajadores de la empresa, dejando a la vista humana del operario como el ente encargado de verificar la línea de producción y por consiguiente su producto final. La interpretación de datos que dependen de la vista humana es aleatoria ya que varían de acuerdo a la deducción y capacidad de visión cada persona, para alcanzar un producto garantizado es de vital importancia la automatización de línea de producción e inspección del producto final, en esta propuesta se ha considerado estudiar los procesos de dosificación y envasado de líquidos para concluir las tareas repetitivas que se puedan automatizar. Mediante el estudio de los procesos se implementó una planta piloto capaz de dosificar y llenar pintura, a su vez se aplica la inteligencia artificial mediante la visión por computador o también conocida como visión artificial para el proceso de envasado favoreciendo a la inspección del producto final. Esto es posible por la implantación de un SCADA que es el encargado de monitorizar y controlar la planta, comenzando con la descarga hasta llegar al llenado de la pintura, al finalizar el llenado del envase es movilizado por una banda transportadora hacia una zona con iluminación dedicada en donde se ejecuta la visión artificial por cámara USB adquiriendo imágenes continuamente, convirtiendo la misma en escala de grises, ejecutando el reconocimiento de patrones a un patrón de nivel de llenado definido. Este trabajo está constituido por dos capítulos, en el capítulo I se trata temas como; la identificación del problema y sus posibles causas, los detalles del funcionamiento del sistema, se definen los objetivos y conveniencia de la propuesta, los tipos de investigaciones y métodos empleados. El capítulo II abarca temas como; el contexto y limitaciones de la máquina, los conceptos que intervienen en la solución del problema, las investigaciones y trabajos previos relacionados a este trabajo de titulación, se detalla los elementos de hardware y software que se utilizan en la implantación, se presenta los esquemas que explican la lógica de la programación y diagramas de conexión de dispositivos, se especifica mediante tres consideraciones porque el proyecto es factible, se señala las pruebas realizadas para verificar la eficiencia del sistema.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En la industria existen varias fases para la obtención de un producto, en esta propuesta tecnológica se toma en consideración la dosificación y envasado de líquido como los procesos en los que se necesita mayor precisión del talento humano para poder notar las unidades defectuosas. Citando un caso particular la detección del nivel de llenado de un envase, el operario emplea varias formas de inspección tales como las dadas en [1]; por atributos, por conteo de defectos o por variable, dejando a la vista humana como el ente encargado de inspeccionar la mezcla y nivel de llenado, no obstante puede haber detalles que pasen desapercibidos por la vista del trabajador.

La evidencia empírica sobre este proyecto se basa en una de sus líneas de investigación de la carrera tecnología en electrónica aplicada, citando a dos de sus componentes; sistema de control y monitoreo de procesos industriales e inteligencia y visión artificial, dado que en la universidad no se cuenta con un laboratorio de control y automatismo se torna complejo el aprendizaje de las líneas citadas anteriormente, debido a que para una formación profesional óptima es necesario contar con las herramientas prácticas como complemento de la información teórica recibida en el salón de clases.

La aplicación de la inteligencia artificial en procesos industriales ha tenido una gran aceptación durante los últimos años alrededor del mundo, específicamente los sistemas de inspección por visión artificial (SIVA) son de gran ayuda, ya que se cuenta con la seguridad de que el sistema sea confiable en comparación con la vista humana que puede fallar en el crítico instante de verificación de un producto final. En el Ecuador son pocas las industrias que están aplicando la inteligencia artificial para la inspección y verificación de un producto, por el desconocimiento y temor de implementar nuevas tecnologías.

El objetivo de un sistema de inspección por visión artificial suele ser comprobar la conformidad de una pieza con ciertos requisitos, tales como las dimensiones, números de serie, la presencia de componentes, etc. Existen varias aplicaciones con grandes beneficios para la industria, para este proyecto se implementará un sistema de control para obtener una mezcla automática y detectar el nivel de llenado de pintura.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto se divide en la parte de hardware (actuadores, sensores, controlador) y software (sistema SCADA), van a trabajar en conjunto ya que en el software se podrá visualizar lo que ocurre en el hardware y desde el software se controlara el proceso.

A su vez el proyecto cuenta con dos procesos, el primero comienza a operar cuando se presione el pulsador de puesta en marcha y se proceda a elegir el color el SCADA, esto permitirá que el sistema encienda las bombas con su respectiva electroválvula para la extracción de los colores de los tres tanques que almacenan el rojo , verde y azul , hacia el tanque dosificador para realizar la mezcla correspondiente al color seleccionado , la dosificación de los tres tanques será sensada por sensores de caudal para verificar el flujo correspondiente de cada bomba, al comenzar la descarga del primer color también se realiza la activación del agitador del tanque dosificador para homogenizar la mezcla y pasar al segundo proceso.

En el segundo proceso se procede a la descarga del líquido homogenizado mediante una bomba con su respectiva electroválvula hacia un recipiente que estará siendo movilizado por una banda transportadora, al final de la banda se encuentra la cámara que detecta el nivel del producto en el envase mediante la detección de patrones. Al finalizar este proceso el sistema preguntara si desea repetir el mismo color de no ser así nos dará la opción de elegir otro color, antes de volver a comenzar con el proceso el sistema procederá con la limpieza del tanque dosificador durante 10 segundos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar la inteligencia artificial para la detección de patrones en el proceso de dosificación y envasado de líquidos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los procesos de dosificación y envasado de líquidos.
- Diseñar la automatización de los procesos y patrones para la identificación del nivel de llenado.
- Implementar el SCADA que reconozca los patrones y automatice los procesos mediante el microcontrolador ATmega2560 en conjunto con Ni LabVIEW.
- Evaluar el funcionamiento de la dosificación y envasado del sistema.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad por el desarrollo y rápido crecimiento de las industrias, todas se esfuerzan para obtener su producto sin desperdiciar recursos, esto implica que cada empresa considere como fundamental la fase de inspección durante todo el proceso y más aún en la verificación del producto final.

Existen diferentes métodos para verificar las condiciones de un producto, escoger el adecuado dependerá del producto final de cada empresa, en el caso de querer comprobar el nivel de llenado de un recipiente con pintura en la mayoría de las industrias esta labor es desempeñada por el talento humano de la misma, dejando a la vista humana el trabajo de verificación del proceso de control de calidad siendo propenso a fallas, llenando en distintos niveles de la norma requerida sea está más alta o más baja ya que en términos de versatilidad, es difícil superar las características de la visión humana, pero existen otros puntos débiles como la lentitud, el cansancio y la distracción que limitan su productividad. Se plantea como solución a esta necesidad la automatización del proceso de la línea de producción en este caso la mezcla de pinturas a través de un sistema SCADA y en la fase de comprobación del nivel de llenado aplicando la inteligencia artificial mediante la

implantación de un sistema de visión artificial (SVA) que reconozca patrones de llenado previamente establecidos.

La investigación necesaria para culminar este proyecto, se espera que sea aprovechada como base para futuros proyectos de compañeros contribuyendo al aprendizaje y formación de los nuevos profesionales de nuestra universidad.

1.5 METODOLOGÍA

Los tipos de investigaciones que se aplicaran en este proyecto son las siguientes:

INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Es una investigación basada en las actitudes, opiniones y comportamientos observados del fenómeno, los resultados son producto de la percepción del investigador. Los métodos empleados son los siguientes:

- Consulta bibliográfica.
- Consulta a expertos.
- Observación.

INVESTIGACIÓN DIAGNOSTICA

En esta investigación lo primero es reconocer que surge una inquietud, el diagnostico no debe estar focalizado ni orientado. Que no esté focalizada está en relación con que no se dirige a una intervención determinada, pero si surge a partir de un problema que nos interesaría en primer lugar conocer para luego intervenir.

INVESTIGACIÓN APLICADA

Es una investigación que parte del conocimiento generado por la investigación básica, tanto para identificar problema sobre los que se debe intervenir como para definir las estrategias de solución.

Las fases donde se aplican los métodos de la investigación son las siguientes:

FASE 1

Investigación preliminar: Esta fase trata sobre la recolección de información necesaria para poder emplear un análisis completo de la misma, a la vez conocer las necesidades y procesos del proyecto para proceder a plantear una solución. En esta fase se aplica la investigación exploratoria y diagnóstica.

FASE 2

Requerimientos del sistema: En esta fase se espera conocer en su totalidad los recursos de hardware y software para cumplir con los objetivos del proyecto y satisfacer las necesidades del usuario final del sistema. En esta fase se emplea la investigación diagnóstica y exploratoria.

FASE 3

Diseño técnico: Esta fase se pretende implementar la solución de la propuesta aplicando los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante la carrera, Se determinara los materiales y componentes tecnológicos aprendidos durante la fase 2 para la construcción de la estructura, comunicación entre elementos de hardware y software, la interfaz gráfica para el usuario. En esta fase se aplica la investigación aplicada.

FASE 4

Pruebas finales: Con las pruebas se corrobora lo realizado en las fases anteriores, se registra los resultados del proyecto para brindar la información precisa sobre el desempeño de la propuesta y garantizar su funcionalidad. En esta fase se emplea la investigación aplicada.

CAPITULO II

LA PROPUESTA

2.1 MARCO CONTEXTUAL

2.1.1 DELIMITACIONES GENERALES

- El sistema de inspección a través de visión por computador será instalado en el laboratorio de electrónica de la carrera de ingeniería en electrónica y telecomunicaciones que se encuentra situado en las instalaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) ubicada en el cantón La Libertad perteneciente a la Provincia de Santa Elena.
- Se estima que el prototipo sea aprovechado por estudiantes de la facultad interesados en obtener mayor comprensión de la electrónica industrial e incluso le puedan realizar mejoras o adiciones.
- El sistema estará bajo condiciones atmosféricas que aseguren un ambiente cómodo y saludable para el operario y eviten el sobrecalentamiento de la máquina.
- El prototipo estará funcionando en una zona de trabajo que por su naturaleza carece de iluminación natural, por ende se proyectan sombras que dificultan las operaciones del sistema.

2.1.2 DELIMITACIONES ESPECÍFICAS

- Se empleará iluminación artificial que se combinará con la general, de tal modo que garantice la detección de nivel de llenado del producto, debido a que si no cuenta con un buen alumbrado la eficiencia del sistema no será la estimada.
- Precedentemente a iniciar el sistema se debe revisar si los recipientes de colores primarios están llenos, dado que esta máquina no cuenta con sensores de nivel que nos permitan verificar si cada envase está lleno o vacío.

- Antes de comenzar con el llenado del líquido mezclado verificar si está ubicado el envase debajo del inyector, debido a que no se tiene sensor de posición que nos confirme la ubicación del mismo.
- Si el proceso comienza con los recipientes en vacío podría causar la avería de las bombas y electroválvulas, no se implementó el uso de sensores de nivel, puesto que eso forma parte de otro proceso industrial que es el llenado de envases de los colores primarios.

2.1.3 DELIMITACIONES DEL PANEL DE CONTROL

- Mediante el panel de control se podrá seleccionar el modo de funcionamiento ya sea este automático o manual, el funcionamiento será automático de preferencia.
- Se contará con la puesta en marcha y parada del sistema a través de pulsadores.
- La selección del color y monitorización del sistema será mediante el sistema SCADA.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas, de esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales. Se entiende como proceso a aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto.

Los procesos se los puede identificar como procesos continuos que se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, procesos discretos que contemplan la salida en forma de unidades y procesos batch que son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de lotes de material. [2]

Control de procesos industriales

Desde el análisis académico este incluye la instrumentación de control (sensores, actuadores, etc.), la aplicación a procesos industriales (tales como, la mezcla de componentes de un reactor), la teoría del control básica de realimentación y acción PID, las distintas arquitecturas de control (central y distribuido), las estructuras de control (feedback, feedforward, cascada, etc.), y la teoría del control avanzada (control predictivo, control multivariable, etc.), teniendo en estos varios de los aspectos más relevantes. [3]

Instrumentación de control

Los tres elementos básicos son el llamado autómata programable PLC, el ordenador industrial y los reguladores industriales (tanto en versión analógica como digital). Estos tres elementos comparten protagonismo y es frecuente encontrar artículos de opinión donde se comenta el futuro de la utilización de los PLC ante las continuas mejoras del control realizado mediante ordenador. Disputas aparte, cada uno de estos elementos halla su aplicación en la industria actual, y es por ello que la tendencia en los próximos años sea la de continuar utilizando estos elementos. [4]

Control por ordenador

El ordenador aparece en el control de procesos industriales a mediados de la década de los años cincuenta en la forma de control centralizado, una arquitectura que ya no se emplea hoy en día. Desde aquel entonces el computador contaba de unas funciones que siguen estando presentes en las industrias modernas: monitorización, vigilancia, control y supervisión. El ordenador puede utilizarse por sí mismo como elemento regulador de procesos. Por otra parte, a través del puerto de comunicaciones RS-232, el computador puede conectarse físicamente al autómata programable, al controlador digital autónomo, o al panel de control de un robot manipulador industrial y así extender las posibilidades de interacción entre estos elementos. Gracias a la implementación de las comunicaciones industriales, el computador puede formar parte de redes de ordenadores jerarquizados mediante la utilización de un bus de bajo nivel (bus As-i), un bus de campo (PROFIBUS), o una red de área local (Ethernet industrial). [5]

Clasificación de interfaces operario-máquina

Las HMI human-machine interfaces destinadas a la automatización industrial se pueden clasificar en dos grupos: de supervisión de procesos (basadas en SCADA Supervisory Control and Data Acquisition) y las de manejo y visualización a nivel de máquina (basadas en paneles).

A su vez las HMI de manejo y visualización a nivel de maquina se subdividen en dos grupos: paneles móviles y estacionarios. [6]

2.2.2 SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

Se puede definir la Visión Artificial como una rama de la Inteligencia Artificial que a través de la implementación óptima, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial adquirida mediante imágenes digitales. La visión industrial o artificial aplicada a la industria abarca la óptica, la informática, la ingeniería mecánica y la automatización industrial, sus aplicaciones integran sistemas de captura de imágenes digitales, dispositivos de entrada/salida y redes de ordenadores para el control de equipos orientados a la fabricación, tales como brazos robóticos.

En comparación con la visión artificial académica, que se enfoca en máquinas basadas en el procesamiento de imágenes, estos sistemas se dedican a realizar inspección visuales que requieren alta velocidad, funcionamiento las 24 horas del día o la repetitividad de las medidas. [7]

Tipos de identificación automática y clasificación de productos:

- Por dimensiones.
- Por marca característica.
- Por código de barras (lectura de caracteres).
- Por color.
- Por área.
- Por perfil (forma).
- Por reconocimiento de patrones.

Sistema de inspección por visión artificial

El objetivo de un sistema de inspección por visión artificial es verificar el cumplimiento de los requisitos y especificaciones a partir de un patrón dado, la detección de patrones se implementa para poder comprobar la conformidad de una pieza con algunos requisitos, tales como las dimensiones, números de serie, la presencia de componentes, etc.

Reconocimiento de patrones

La tarea fundamental de un sistema de reconocimiento de patrones (clasificador) es la de asignar a cada patrón de entrada una etiqueta. Dos patrones diferentes deberían asignarse a una misma clase si son similares y a clases diferentes si no lo son. La cuestión que se plantea ahora es la definición de una medida de similitud entre patrones.

En definitiva, se supone que el proceso de adquisición es biunívoco y continuo. Estas consideraciones sugieren que si las representaciones de dos patrones están muy cercanas en el espacio de representación, entonces los patrones deben tener un alto grado de similitud. No obstante, no puede afirmarse tajantemente que a mayor distancia menor similitud ya que la medida (absoluta) de distancia depende de la escala en la que se cuantifiquen las variables asociadas al patrón.

Los sistemas de adquisición introducen cierta distorsión o ruido, lo que produce una variabilidad en la representación de los patrones. Aunque es posible controlar eficientemente en muchos casos esta distorsión mediante el calibrado de los sistemas de adquisición de datos, aparece otra fuente de variabilidad por la propia naturaleza de los patrones.

Con mucha frecuencia, patrones de una misma clase difieren, incluso significativamente.

Un ejemplo sencillo es el de los sistemas de reconocimiento de caracteres OCR que pueden interpretar diversos tipos de letra. Bien, en el caso más simple, en el que se trata un solo tipo de letra, la variabilidad de los patrones se debe a factores tales como el granulado, el color y calidad del papel o el tipo de tinta empleado. [8]

2.2.3 MÁQUINAS DE ESTADOS FINITOS

Las Máquinas de estados Finitos conocidas como Finite State Machines por su traducción al inglés, nos sirven para realizar procesos bien definidos en un tiempo discreto. Reciben una entrada, hacen un proceso y nos entregan una salida. Notemos que estas máquinas hacen una computación.

Llamaremos una Máquina de Estados Finitos como Autómata Finito, el hecho es que un Autómata y una Máquina de Estados Finitos son lo mismo, podemos utilizar ambos términos de forma indistinta.

Los Autómatas se caracterizan por tener un Estado inicial, reciben una cadena de símbolos, cambian de estado por cada elemento leído o pueden permanecer en el mismo estado. También tienen un conjunto de Estados Finales o Aceptables que nos indican si una cadena pertenece al lenguaje al final de una lectura. [9]

2.3 MARCO TEÓRICO

A continuación se detallan algunos de los artículos estudiados por el autor del presente Trabajo de Titulación ordenados por la fecha de publicación dividido en el proceso de dosificación y el proceso de envasado.

Proceso de dosificación

C. Rojas, J. Barrera (2006). Sistema automático programable para la mezcla de productos químicos [10]: El sistema está automatizado por dos microcontroladores; el primero se lo declara como entrada ya que recibe los datos ingresados mediante el teclado (velocidad y tiempo) . El segundo es declarado como salida ya que cumple con dos funciones; la primera de visualizar datos en un LCD 16x2 y la segunda de activar el mezclador conjuntamente con el circuito de potencia.

J. Crespo, L. Calle, L. Ordóñez (2007). Sistema automatizado para mezclar colores [11]: En el sistema operan en conjunto un ordenador y un microcontrolador, se comunican por el protocolo RS-232. El computador cuenta con un SCADA que es el encargado de recepcionar los valores para la elección del color basado en el modelo

RGB, el controlador convierte los datos ingresados en tiempos de activación para cada actuador que nos permiten obtener el tono deseado.

M. Redondo (2008). Diseño e implantación de un sistema SCADA para una planta de producción y envasado de líquidos [12]: El sistema consta de tres niveles de operación, los cuales están automatizados por un controlador (PLC) e intercomunicados vía PROFIBUS-DP. El primer nivel (Proceso) consiste de los sensores y actuadores que intervienen en el proceso, el segundo nivel (Control) está compuesto de las funciones realizadas por el PLC y el último nivel (Supervisión) aparece el software industrial del SCADA donde podremos visualizar animaciones y datos de todo el sistema.

K. Morán, J. Fierro, P. Garaycoa (2009). Diseño e implementación de módulo didáctico de un sistema automático de obtención de colores de pintura, obtenidos a partir de la mezcla de colores primarios y su respectivo envasado [13]: El sistema electro-neumático es capaz de obtener 36 colores. El módulo tiene 2 procesos industrializados por un PLC e una monitorización de los mismos a través de un software automatizado instalado en un ordenador, el primer procedimiento aparece cuando se haya cargado los colores primarios en el recipiente del mezclador y el segundo reside en envasar la mezcla.

S. Sagñay, V. Chicaiza (2010). Estudio comparativo de sistemas de programación convencional y sistemas SCADA aplicado al módulo mezclador de líquidos y su implementación en un sistema de recetas. Caso práctico: Laboratorio de automatización industrial de la EIS [14]. El sistema se basa en un SCADA visualizado en un computador y automatizado por un PLC intercomunicados vía MODBUS, el cual nos facilita la mezcla idónea de una receta.

La información de la misma radica en un archivo de Excel que consta con los datos de la cantidad de líquido por cada depósito y tiempos de activación del agitador.

L. López, E. Echeverría (2012). Diseño e implementación de máquina automática multifunciones para obtener mermeladas, jugos de fruta y pulpa de fruta pasteurizada [15]: La máquina es controlada y monitorizada por una HMI e

industrializada por un PLC, comunicados entre sí por una interfaz PROFINET. El operario puede escoger en tres procesos, dependiendo del escogido varia el orden de los procedimientos para llegar al producto final. Como se trata de un producto de la industria alimenticia es vital la limpieza de los recipientes del sistema, dicha técnica es efectuada por un agitador automático activado antes de comenzar cualquier aplicación.

M. Quispe (2014). Diseño de un controlador de proceso industrial utilizando controladores lógico programables de siemens/simatic-s7 interactuando con la planta virtual ITS y monitorización SCADA [16]: El sistema de control simula la mezcla de pintura a partir de tres colores primarios, por consiguiente se obtiene 19 colores prefijados. La pintura de los silos es descargada mediante válvulas hacia el tanque mezclador para su posterior liberación a través de otra válvula para su correcto almacenamiento.

M. Pachecho (2015). Automatización de un proceso industrial mediante autómatas [17]: La máquina mezcladora de pintura cuenta con dos modos de funcionamiento manual y automático permitiendo obtener cualquier color desde una HMI como consecuencia de la mezcla de tres colores primarios y efectuando el llenado en depósitos de tres tamaños diferentes, la máquina es industrializada por un PLC comunicándose vía PROFINET con la HMI.

Proceso de envasado

H. Gavilánez, E. Albán (2007). Diseño e implementación de un sistema de control y verificación del nivel de llenado de botellas utilizando LabVIEW y IMAQ VISIÓN [18]: El sistema analiza el nivel de llenado de botellas dentro de un rango predefinido por el operario basado en el reconocimiento de patrones, los envases llegan a la zona de inspección mediante una faja transportadora.

El software de inspección está capacitado para detectar el avance de las botellas y procesar la imagen para constatar el nivel, según el resultado de la verificación, el recipiente seguirá o será expulsado de la máquina.

J. Mendoza, C. Cojitambo (2008). Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de nivel de llenado de frascos [19]: El sistema de visión artificial es monitorizado mediante un software automatizado instalado en un ordenador y esta industrializado por dos microcontroladores, los mismos que dominan los actuadores que intervienen en el proyecto conjunto con los autómatas que seleccionan las botellas. La máquina se basa en adquisición de datos a través de cámara web para su posterior procesamiento con el fin de detectar dos niveles de líquido para trazar una línea vertical determinando la medida del líquido.

D. Tello, M. Salcán (2009). Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de frascos de distinto color [20]: El sistema de detección se basa en el reconocimiento de patrones para identificar colores, en la que se emplea una cámara web a fin de captar imágenes de los frascos que se van a estudiar. Por consiguiente se procede a definir plantillas de los colores con la meta de establecer los colores a identificar, tomando en cuenta que los colores no especificados serán rechazados

G. Murillo, S. Montaluisa (2010). Control e inspección de llenado de botellas aplicando herramientas de visión artificial para el laboratorio de neumática e hidráulica de la ESPE sede Latacunga [21]: El sistema se enfoca en la detección de patrones adquiriendo las imágenes de los recipientes por cámara web para luego proceder al procesamiento de las mismas, por consiguiente se traza una área rectangular que permite localizar los bordes del líquido con la finalidad de conseguir un valor numérico, el que permite verificar el nivel de llenado.

J. Cáceres (2011). Sistema de visión artificial para inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas [22]: El sistema está basado en la identificación de patrones del nivel de llenado de envases, obteniendo las imágenes de los envases por cámara web USB para proceder con su análisis y tratamiento, se ha establecido como referencia del nivel de llenado de la botella la distancia perpendicular comprendida entre el punto central superior de un área rectangular con respecto a la línea del nivel de llenado del envase.

L. Villacís, H. Ramos (2012). Diseño y construcción de un sistema automático de control e inspección de botellas selladas con tapas tipo rosca, para optimizar tiempos en el proceso de empaquetado utilizando procesamiento digital de imágenes [23]: El sistema se basa en el reconocimiento de patrones adquiriendo las imágenes de las botellas por cámara USB para arrancar con el procesamiento de la adquisición, para la identificación de las botellas el sistema utiliza plantillas que son establecidas con anterioridad para cada color. Cuando el programa encuentra un color válido lo registra para su posterior conteo.

I. Amancha (2014) Visión artificial para verificar el nivel de llenado en el sistema de embotellado en el laboratorio de control y automatización de la facultad de ingeniería civil y mecánica [24]: El sistema consta de una cámara inteligente que integra el procesamiento de imágenes dentro del mismo dispositivo, así omitiendo el uso de un ordenador externo, la desventaja de este tipo de sistemas es que la velocidad del proceso suele ser más lenta que la de un computador y no son compatibles con cualquier aplicación.

G. Lozano, J. Orduz (2015). Diseño de un sistema de visión artificial para la revisión del nivel de llenado de bebidas embotelladas [25]: El sistema determina el nivel que contiene cada botella, para lograrlo se analizan los píxeles de la imagen contando la cantidad de los mismo que se encuentran en la columna central de la imagen. Esto se hace contando desde el fondo de la imagen hasta encontrar el borde blanco, el cual representa el nivel actual del contenido de la botella.

2.4 COMPONENTES DE LA PROPUESTA

2.4.1 COMPONENTES DE HARDWARE

ELEMENTOS DE LA PLANTA

Bomba de diafragma

Las bombas de diafragma son un tipo de bombas de desplazamiento positivo que para bombear líquido, combinan la acción recíproca de un diafragma de teflón o caucho y de válvulas que abren y cierran de acuerdo con el movimiento del diafragma. [26]

Marca	Modelo	Volt (VDC)	Flujo (l/min)	Presión (psi)	Amperaje (a)
Singflo	FLO-2202a	12	4	70	2.6MAX
Tamaño de entradas y salidas:	3/8" manguera				
Dimensión:	18.6x11x6.5cm				
Peso neto	0.64 kg				

Tabla 1: Datos técnicos bomba de diafragma: Singflo



Figura 1: Bomba de diafragma FLO-2202a: Singflo

Válvula solenoide

La apertura o cierre de la válvula se debe a impulsos electromagnéticos de un solenoide (un electroimán) que trabaja en conjunto con un muelle diseñado para devolver a la válvula a su posición neutral cuándo el solenoide se desactiva.

Un solenoide es una bobina de material conductor cuyo funcionamiento está basado en campos electromagnéticos, al pasar una corriente eléctrica mediante la bobina se genera un campo electromagnético de cierta intensidad en el interior. Un émbolo fabricado de metal ferroso es atraído por la fuerza magnética hacia el centro de la bobina, lo que proporciona el movimiento necesario para accionar la válvula. [27]

Marca	NMPC
Modelo	2P025-08
Voltios (VDC)	12
Medio de funcionamiento	Aire, agua, aceite, gas
Patrón de movimiento	Tipo de transmisión directa
Tipo	Normalmente cerrada
Apertura velocidad de flujo	2.5mm

Tamaño del puerto	1/4"
Viscosidad del fluido	20CST
Presión	0-0.7Mpa
Temperatura	-5 a +80°C
Material del cuerpo	Plástico
Material del sello de aceite	NBR

Tabla 2: Parámetros técnicos válvula solenoide: NMPC



Figura 2: Válvula solenoide 2P025-08: NMPC

Sensor de caudal

Es un sensor de flujo de construcción sólida el cual está constituido por un cuerpo de plástico, un rotor y un sensor de efecto Hall. Utiliza un sensor con aspas para medir la cantidad de líquido que se ha movido a través del mismo, esto genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad del flujo. Al contar los pulsos de la salida del sensor puede seguir con facilidad el movimiento del líquido, cada pulso es aproximadamente de 2,25 mililitros. [28]

Modelo	YF-S201
Voltaje de funcionamiento	5 – 24 VDC
Tipo de sensor	Efecto Hall
Temperatura (°C)	-25 a 80
Presión	≤ 1.75MPa

Velocidad de flujo	1-30 l/min
Tamaño del puerto	1/2"
Pin de salida	Rojo: +Vcc Negro: GND Amarillo: Señal de salida PWM

Tabla 3: Especificaciones técnicas sensor de caudal: YIFA



Figura 3: Sensor de flujo YF-S201: YIFA

Sensor de final de carrera

Son sensores de contacto que muestran una señal eléctrica ante la presencia de un movimiento mecánico, son utilizados en ambientes industriales para censar la presencia de objetos en una posición determinada. Se emplean en distintas aplicaciones, ya que pueden determinar la presencia, ausencia, paso y posicionamiento de un objeto. [29]

Marca	Jietong
Modelo	MSW-03
Temperatura ambiente	-25°C a +85°C
Contacto	10A 125/250VAC
Resistencia de contacto	20mΩ MAX
Vida eléctrica	100.000 ciclos
Tipo	Palanca con roldana

Tabla 4: Datos técnicos sensor final de carrera: Jietong



Figura 4: Final de carrera MSW-03: Jietong

Motor monofásico de inducción

Los motores de inducción presentan un rotor de jaula de ardilla, el estator está compuesto por un embobinado principal, el cual se distribuye en las ranuras del estator de la misma forma que en los motores trifásicos. Al aplicar una tensión monofásica alterna al embobinado principal se generan dos campos magnéticos giratorios de igual amplitud y constantes, que giran a la misma velocidad pero en sentidos contrarios produciendo un campo magnético pulsatorio, el cual no es capaz de poner en marcha el motor. Por lo que se emplea un capacitor que es el encargado de brindar la fuerza de arranque para la puesta en marcha del motor.[30]

Este motor fue utilizado en la banda transportadora.

Marca	Shinano Kenshi
Modelo	IG-842-513
Calificación de uso	Continuo
Polos	2
Potencia (W)	14/17
Voltaje (V)	100
Frecuencia (Hz)	50/60
Capacitor (F)	10
Tasa de carga (N-m)	2.5
Velocidad nominal (r/min)	115/138
Masa (Kg)	2.2

Tabla 5: Especificaciones técnicas motor IG-842-513: Shinano Kenshi



Figura 5: Motor Shinano Kenshi IG-842-513

Motor de corriente continúa

Se refiere como motor de corriente continua al convertidor electromecánico rotativo que se basa los fenómenos de la inducción y de par electromagnético transformando la energía eléctrica, en energía mecánica bajo la naturaleza de corriente continua [31]. En este trabajo se emplean dos motores de corriente continua, el primero para el inyector y el segundo para el agitador.

Fabricante	Jameco
Modelo	RS385-ST
Voltaje (V)	12 a 24
Amperaje (mA)	3500
Altura y diámetro (cm)	4,70x2,70
RPM	9098
Peso	70 gr

Tabla 6: Especificaciones técnicas motor RS385-ST: Jameco



Figura 6: Motor cc RS385-ST: Jameco

Fabricante	Nippondenso
Modelo	062500-343
Voltaje (V)	12
Amperaje (A)	3

Tabla 7: Datos técnicos motor cc ND 062500-343



Figura 7: Motor cc ND 062500-343

Cámara USB

Es un periférico que se conecta al puerto USB del ordenador, y así permite la adquisición de imágenes (captar video y tomar fotos). Las imágenes que capta las codifica para su posterior procesamiento, por ejemplo como para compartirlo en internet en tiempo real, hacia otra computadora donde otro usuario podrá visualizarla al instante. Son muy utilizadas para conversaciones vía internet, así como también para inspección y actividades de vigilancia. [32]

Marca	Apex
Modelo	Apexa st-cam030
Zoom digital	X10
Reducción de ruido	Si
Micrófono incluido	Si
Enfoque manual	Si
Fotogramas por segundo	30

Tabla 8: Especificaciones técnicas Apexa st-cam030: Apex



Figura 8: Cámara web USB Apexa st-cam030: Apex

ELEMENTOS DEL PANEL DE MANDO

Botoneras

Es un conjunto de botones o interruptores que, una vez instalado dentro de un tablero o cualquier otro sitio permite tener acceso y vista general de los mandos que controlan el comportamiento de algún proceso mediante el envío de una señal, generalmente eléctrica y accionan o desactivan diferentes elementos.

Existen distintos tipos de botoneras que dependen del tipo de proceso que comandan, pero una botonera no solo se refiere a los diferentes tipos de botones si no también se auxilian de otros mandos como selectores y manipuladores además de luces indicadores que facilitan al usuario su manipulación, muchas pueden incluir algún tipo de señalización sonora, como alarmas. [33]



Figura 9: Botoneras: Dirind

Disyuntor

Es un dispositivo de protección provisto de un comando manual y su función es desconectar de forma automática una instalación o un circuito, a través de la acción de un elemento bimetálico y otro electromagnético, el exceso de corriente producirá elevación de temperatura y, por consiguiente, dilatación del bimetal, el cual permitirá la desconexión del dispositivo. De misma manera, el aumento de corriente produce atracción del núcleo, el cual dará paso a la desconexión. [34]

Marca	Siemens
Modelo	5SX1 232-6
Un	230V, 50-60Hz para redes de hasta 250/440VCA en CC por polo 60V
Normas	EN 60898, DIN VDE 0641 parte 11, IEC60898
Profundidad de montaje	53mm

Tabla 9: Características Disyuntor 5SX1 232-6: Siemens



Figura 10: Disyuntor 5SX1 232-6: Siemens

Controlador

El controlador en este caso microcontrolador consiste en la parte inteligente del sistema, existen infinitas aplicaciones en las que se puede incluir un microcontrolador en este caso ha sido empleado para el control de procesos automáticos. Hay que tomar en cuenta que los microcontroladores son dispositivos sensibles por lo que al ser utilizados se debe colocar a la par circuitos auxiliares que mejoren su desempeño y lo hagan menos sensible a perturbaciones externas. [35]

Microcontrolador	Atmega2560
Voltaje de funcionamiento	5v
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12v
Voltaje de entrada (límite)	6-20v
E/S digitales	54 (15 salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
CC para pines de E/S	20 mA
CC para pin 3.3v	50 mA
Memoria flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Longitud	101,52 mm
Ancho	53,3 mm
Peso	37g

Tabla 10: Especificaciones técnicas del controlador: Arduino

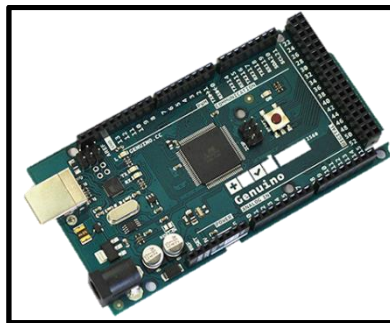


Figura 11: Tarjeta controladora Mega 2560: Arduino

Tarjeta de potencia

La tarjeta de potencia permite la adaptación de voltajes entre la tarjeta de control y los actuadores a controlar por el sistema, de tal manera que las señales digitales enviados por el microcontrolador se amplifiquen para poder obtener la potencia necesaria y encender o apagar los actuadores. [36]

Tipo	Módulo de relés
Canales	8
Entrada	5VDC – 15 a 20 mA
Relé	10A y 250VAC (o 30VDC)
Interfaces	PIC-AVR-ARM-DSP-ARDUINO
Medidas	13.9cm x 5.2cm x 1.7cm

Tabla 11: Características de tarjeta de potencia: Fabricante

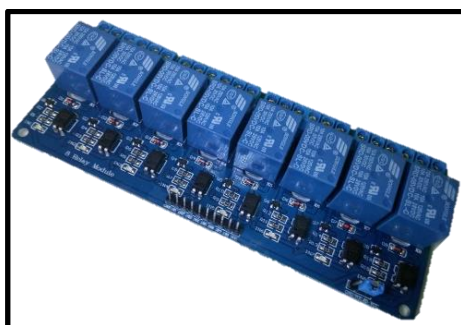


Figura 12: Módulo de relés 8 canales: Fabricante

Fuente de alimentación

Es un dispositivo que convierte la corriente alterna de la red de suministro, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan a diferentes circuitos electrónicos o sistemas de poca potencia. [37]

Modelo	S-360-12
Voltaje de entrada	100-220VCA
Voltaje de salida	12VDC
Corriente nominal	30A
Canales	9
Temperatura de trabajo	10-60 °C
Dimensiones	21,5x11,4x4,9 cm
Peso	754 g

Tabla 12: Especificaciones fuente de alimentación: Fabricante



Figura 13: Fuente de alimentación S-360-12: Fabricante

2.4.2 COMPONENTES DE SOFTWARE

NI LabVIEW

Es un entorno de desarrollo diseñado específicamente para acelerar la productividad de los ingenieros y científicos. Con una sintaxis de programación gráfica que facilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería.

LabVIEW está diseñado para incorporarse con otro software, ya sea métodos alternativos de desarrollo o plataformas de fuente abierta, para garantizar que usted puede usar todas las herramientas a su disposición. [38]



Figura 14: Inicialización de LabVIEW

Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC)

El Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) es el complemento de LabVIEW, ideal para desarrollar su HMI/SCADA o aplicaciones de registro de datos de muchos canales. Con LabVIEW DSC, usted puede desarrollar de manera interactiva un sistema de monitoreo y control distribuido que va desde docenas hasta decenas de miles de etiquetas. Incluye herramientas para registrar de datos a una base de datos histórica en red, rastrear tendencias de datos

históricos y en tiempo real, administrar alarmas y eventos, crear redes de objetivos LabVIEW Real-Time y dispositivos OPC en un sistema completo y añadir seguridad a interfaces de usuarios. [39]



Figura 15: Navegador de Imágenes DSC

Software NI Vision Acquisition

El Software NI Vision Acquisition es un software controlador para adquirir, visualizar, registrar y monitorear imágenes desde varios tipos de cámaras. Con un juego de funciones fáciles de usar y programas ejemplo, se puede crear rápidamente aplicaciones en NI LabVIEW, C, C++, C#, Visual Basic y Visual Basic.NET. [40]

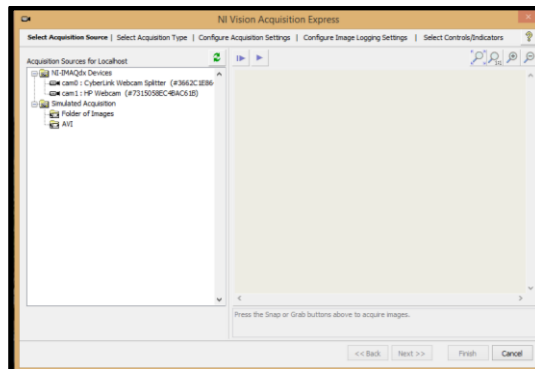


Figura 16: Ni Vision Acquisition Express

Módulo Vision Development

El Módulo Ni Vision Development está diseñado para ayudarle a desarrollar e implementar aplicaciones de visión artificial. Incluye cientos de funciones para adquirir imágenes desde múltiples cámaras y para procesar imágenes, por ejemplo

mejorarlas, verificar presencia, ubicar características, identificar objetos y medir partes. [41]

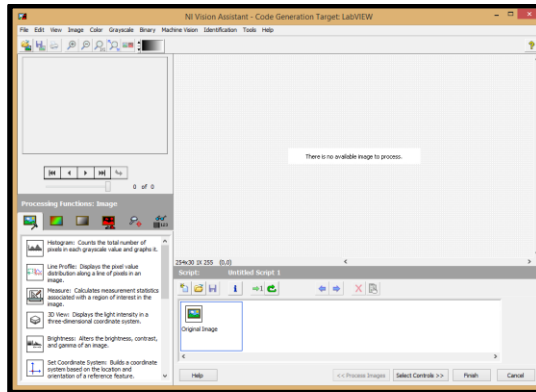


Figura 17: Ni Vision Assistant

Arduino Software

El código abierto Arduino Software (IDE) hace que sea fácil de escribir código y subirlo a la placa. El entorno está escrito en Java y basadas en el procesamiento y otro software de código abierto. [42]

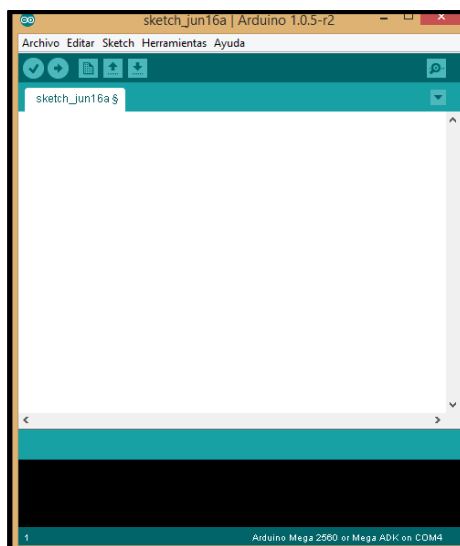


Figura 18: IDE Arduino

Arduino y LabVIEW

El NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit le ayuda a establecer interfaz rápidamente con el microcontrolador Arduino utilizando LabVIEW, debido a que

se conecta con LabVIEW a través de una conexión serial, esto le ayuda a intercambiar información fácilmente, ya que se puede tener acceso a las señales digitales, analógicas, moduladas por ancho de pulso desde pines de Arduino hacia LabVIEW. [43]

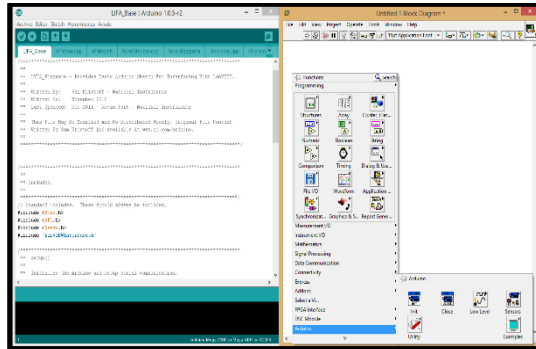


Figura 19: Arduino y LabVIEW

2.5 DISEÑO DE LA PROPUESTA

2.5.1 DISEÑO ELÉCTRICO

El diseño eléctrico de esta propuesta se divide en dos diagramas para su mejor interpretación, estos son; el diagrama de fuerza y el de control.

DIAGRAMA DE FUERZA

El diagrama de fuerza está conformado por un disyuntor que es el encargado de proteger al sistema de los sobre picos de corriente proveniente de la red de suministro de corriente alterna, el mismo que a su salida tiene conectado los actuadores de corriente alterna y alimenta una fuente de 12VDC que es la responsable de abastecer a los actuadores de corriente directa.

Los actuadores tanto de corriente alterna como directa están conectados a través de contactos de relés que son los que nos brindaran la posibilidad de aplicar el control ON/OFF en los mismos.

Diagrama de fuerza actuadores de corriente alterna

En esta parte del diagrama se cuenta con un motor de inducción para la banda transportadora y lámpara fluorescente para la iluminación en la etapa de visión artificial. Ver figura 20.

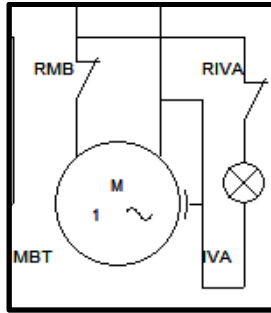


Figura 20: Diagrama de fuerza actuadores de corriente alterna

Diagrama de fuerza actuadores de corriente directa

En esta sección del diagrama de fuerza se encuentran con dispositivos, tales como; cinco bombas de diafragma, seis electroválvulas, dos motores uno para el inyector y otro para el agitador. Ver Figura 21.

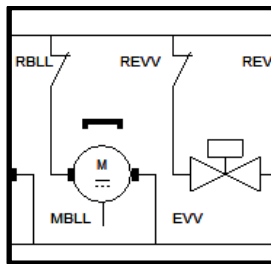


Figura 21: Diagrama de fuerza actuadores de corriente directa

La conexión es la misma para todos los actuadores excepto en el caso especial del motor del inyector que se emplea una conexión entre dos relés para poder desarrollar una inversión de giro que es la que nos permite visualizar la subida y bajada del inyector. Ver Figura 22.

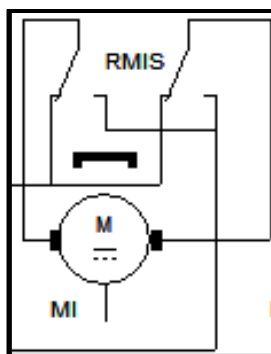


Figura 22: Diagrama de fuerza motor inyector

Puede encontrar el diagrama de fuerza completo en el Anexo 1.

DIAGRAMA DE CONTROL

El diagrama de control consta de los elementos del control, en este caso se lo ha subdividido en dos diagramas, uno para los componentes de entrada al microcontrolador y otro para los de salida.

Diagrama de elementos de entrada

El diagrama de elementos de entrada está conformado por interruptores, pulsadores y sensores de caudal. En este diagrama se vuelve a dibujar un disyuntor de sobre corriente pero es el mismo utilizado en la etapa de potencia, sucede lo mismo con la fuente de alimentación de 12VDC que en este caso es la que abastece de corriente a los sensores de caudal.

Diagrama de control interruptores y pulsadores

En esta parte del diagrama se tiene un selector de modo de funcionamiento automático/manual, un pulsador de puesta en marcha normalmente abierto, un pulsador de puesta a paro normalmente cerrado, cuatro finales de carrera, son alimentados por una fuente de 5VDC y tienen conectada una resistencia de 1k a tierra para que el microcontrolador pueda leer correctamente el dato. Ver Figura 23.

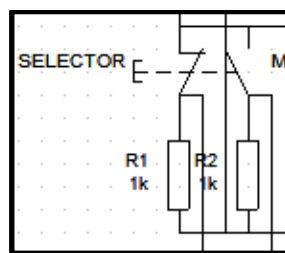


Figura 23: Diagrama de control interruptor

Diagrama de control sensores de caudal

En esta sección del diagrama se cuenta con tres sensores de caudal, estos sensores están siendo alimentados por la misma fuente de 12VDC que se encuentra en el

diagrama de fuerza, se lo hizo de esta manera para no sobrecargar la fuente de 5VDC. Ver Figura 24.

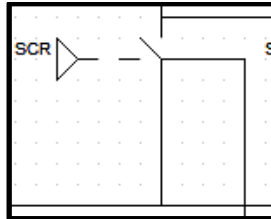


Figura 24: Diagrama de control sensores de caudal

Puede visualizar el diagrama de control completo en el Anexo 2.

DIAGRAMA DE ELEMENTOS DE SALIDA

El diagrama de elementos de salida está constituido por las bobinas de los relés que al enviarle la señal desde el controlador permitirán la conmutación del contacto normalmente cerrado y normalmente abierto, esto nos proporcionara el control ON/OFF de los actuadores en conjunto con la etapa de potencia, por esto en el diagrama solo se aprecia el número de pin del controlador conectado a cada bobina.

Para evitar la redundancia entre ambos diagramas en este último se evita dibujar el disyuntor, las fuentes de alimentación y el microcontrolador. Ver Figura 25.

Puede apreciar el diagrama completo en el Anexo 3.

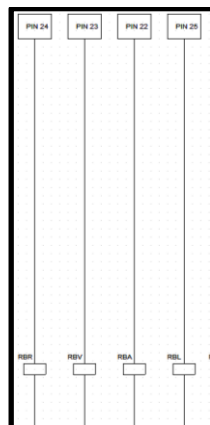


Figura 25: Diagrama de control de salida

2.5.2 DISEÑO DE LA PROGRAMACIÓN

Esta parte del diseño se la ha realizado mediante diagramas de GRAFCET para su mejor comprensión e interpretación, toda la programación es basada en una máquina de estados, cada estado se activa al instante de la culminación del estado anterior.

Selección de modos de funcionamiento

Dependiendo de la posición del selector se puede tener dos modos de funcionamiento; automático y manual. La meta es siempre trabajar en modo automático, pero se cuenta con el modo manual en caso de daño de algún actuador o para actuar en algún caso aislado.

Para el óptimo desempeño del sistema se plantea en la programación que no se pueda activar el cambio de un modo a otro sin antes presionar el pulsador de PARO. Ver Figura 26.

En LabVIEW esto es posible mediante la adquisición del dato del pin 53 (Automático) y pin 52 (Manual) gracias al Digital Read Pin, en conjunto con una compuerta AND se compara los valores del selector y del indicador de MARCHA/PARO para que a su salida obtengamos el cambio de estado del TABCONTROL AUT/MAN. Ver Figura 27.

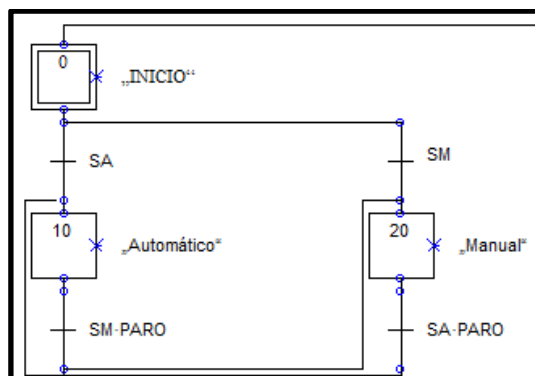


Figura 26: GRAFCET selección de modos

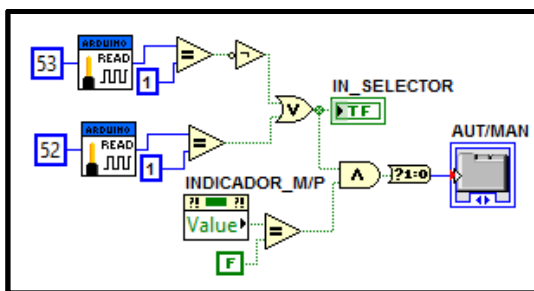


Figura 27: LabVIEW selección de modos

Si se cambia de modo sin previamente haber pulsado PARO el sistema hará caso omiso al cambio de posición del selector, luego de haber definido el modo se debe presionar el pulsador de MARCHA para proseguir con la elección de uno de los tonos propuestos en el SCADA, al segundo de la elección del color se pasa al siguiente estado la descarga de colores primarios. Ver Figura 28.

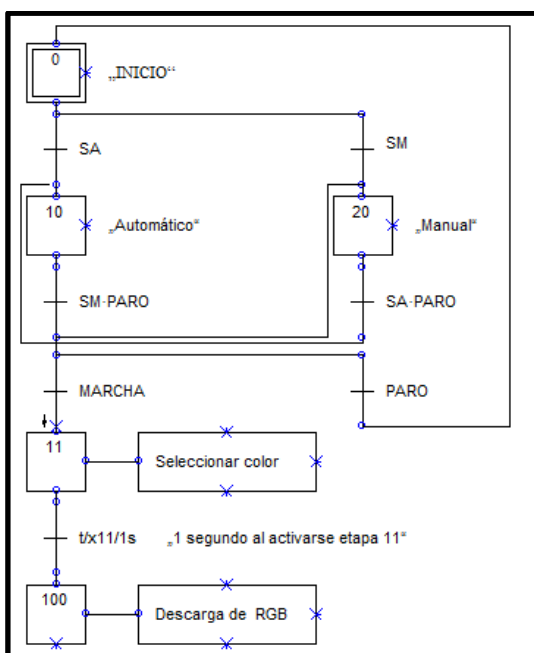


Figura 28: GRAFCET de selección de modos y puesta en marcha

Tiempo de activación de actuadores

El tiempo de activación de las bombas con su respectiva válvula solenoide es la manera por la que se controla la cantidad de mililitros que se succiona de los recipientes o el tiempo de accionamiento de los motores. En LabVIEW esto es

posible gracias a un For Loop escribiendo a su entrada los milisegundos que se pretende que estén activos los actuadores, dentro del For Loop se emplea un Wait (ms) que su valor debe ser igual a 1 y se utiliza el Digital Write Pin para enviar un alto o un bajo a los pines del microcontrolador. Ver Figura 29.

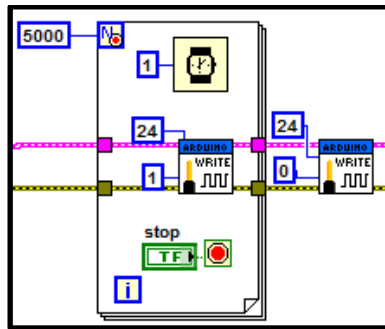


Figura 29: LabVIEW tiempo de activación de actuadores

Obtención del valor de caudal litros/min

Para poder obtener el valor de caudal litros/min se emplea la formula brindada por el fabricante $\text{Caudal} = \text{Pulsos} * 0,0022$. En LabVIEW al momento de la descarga de los colores primarios, se comienza con la adquisición de la señal a través del Digital Read Pin en su salida se compara si la señal es mayor a 0 entra a un subvi que permite la detección de flancos positivos Boolean Crossing PtByPt, si se identifica un flanco positivo se entra a un Case Structure que permite realizar un conteo de la señal desde cero gracias a un shift register del While para posteriormente multiplicarlo por 0,0022. Ver Figura 30.

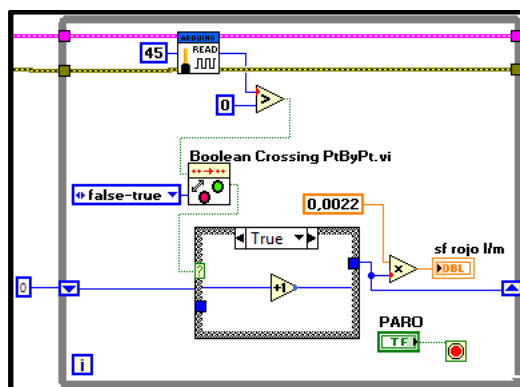


Figura 30: LabVIEW obtención del valor de caudal litros/min

Descarga de colores primarios

La descarga de colores primarios comienza después de seleccionar un color, el tiempo de descarga en cada color varía dependiendo de la tonalidad deseada, en paralelo se obtiene el valor del caudal y se activa el agitador para que realice menos fuerza en la mezcla.

Primero se efectúa la descarga del color rojo a través del accionamiento de una bomba (Pin 32) con su respectiva electroválvula (Pin 24) como se puede apreciar en la etapa 101. Ver Figura 31. La programación en LabVIEW se muestra en la figura 29.

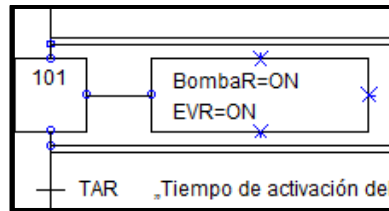


Figura 31: Etapa 101 GRAFCET descarga color rojo

En paralelo a la descarga del color se debe ir adquiriendo el valor del sensor de caudal rojo (Pin 45) como se muestra en la etapa 102, ver Figura 32. La programación en LabVIEW se puede apreciar en la Figura 30.

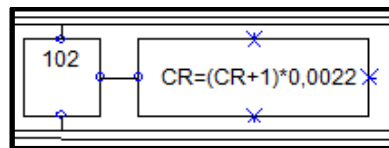


Figura 32: Etapa 102 GRAFCET descarga color rojo

Al culminar el tiempo de descarga del color rojo se procede con la descarga del color verde mediante la activación de una bomba (Pin 23) con su debida válvula solenoide (Pin 30) como se muestra en la etapa 103, ver Figura 33. La programación en LabVIEW se puede apreciar en la Figura 29.

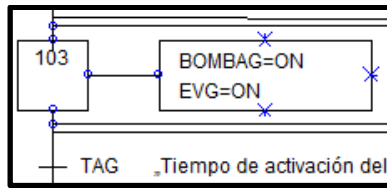


Figura 33: Etapa 103 GRAFCET descarga de color verde

En paralelo a la descarga del color verde se debe ir adquiriendo el valor del sensor de caudal verde (Pin 44) como se muestra en la etapa 103, ver Figura 34. La programación en LabVIEW se puede apreciar en la Figura 30.

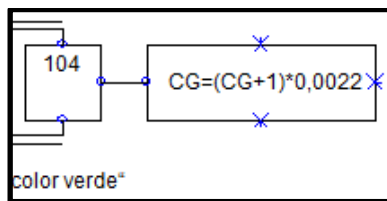


Figura 34: GRAFCET descarga color verde

Al finalizar el tiempo de descarga del color verde se continua con la descarga del color azul mediante una bomba (Pin 22) acompañado de su válvula solenoide (27) como se muestra en la etapa 105. Ver Figura 35. La programación en LabVIEW se muestra en la Figura 29.

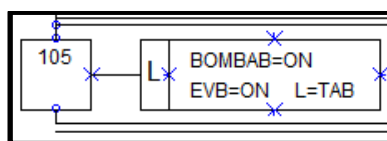


Figura 35: Etapa 105 GRAFCET descarga color azul

En simultáneo a la descarga del color azul se debe ir adquiriendo el valor del sensor de caudal azul (Pin 43) como se muestra en la etapa 106, Ver Figura 36. La programación en LabVIEW se puede apreciar en la Figura 30.

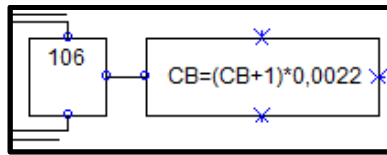


Figura 36: Etapa 106 GRAFCET descarga de color azul

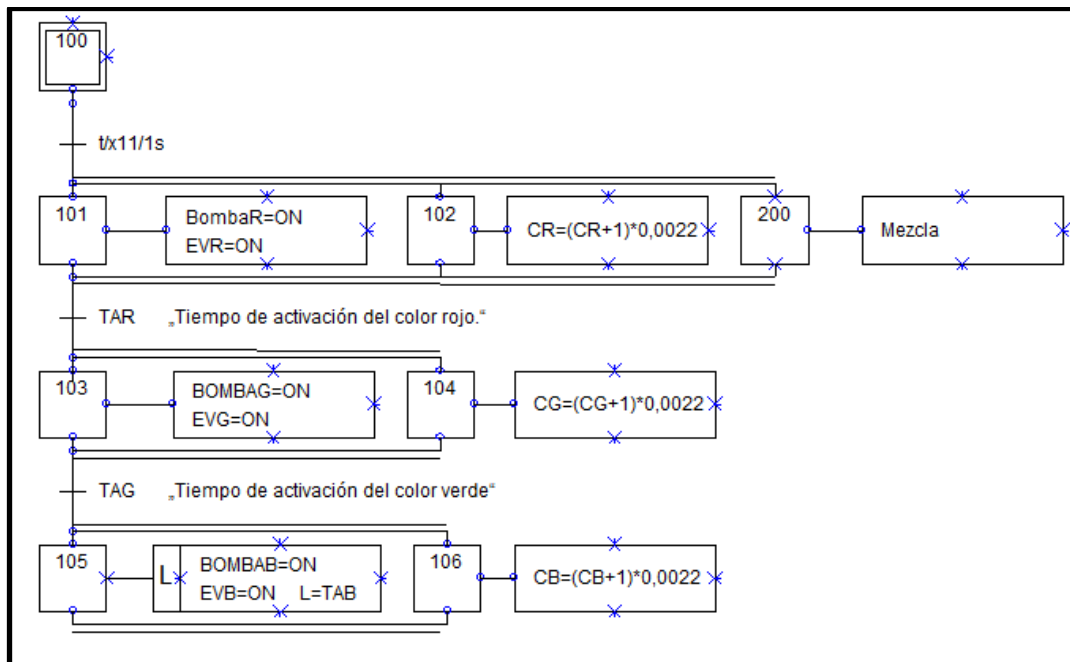


Figura 37: GRAFCET de descarga de colores primarios

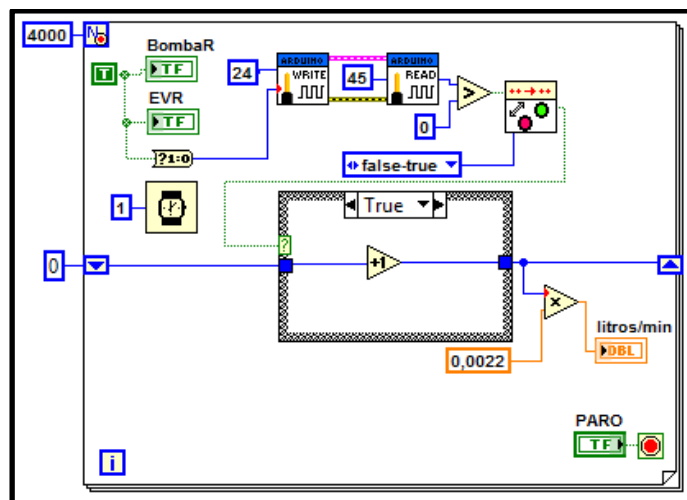


Figura 38: LabVIEW descarga de color rojo 4s

MEZCLADO

La mezcla de colores será efectuada a través del motor del agitador, el motor será activado en simultáneo a la descarga del primer color primario como se puede visualizar en el GRAFCET de la Figura 37.

Con esto conseguimos que el motor del agitador realice menos fuerza al comienzo del llenado del tanque mezclador en comparación si estuviera completamente lleno y así podremos obtener una mezcla de mejor calidad. El agitador estará activado durante 10 segundos, después se proseguirá con el siguiente estado que trata sobre el llenado del envase. Ver Figura 39.

En el diagrama de bloques de LabVIEW se muestra a un For Loop que es el encargado de controlar el tiempo de accionamiento en este caso 10 segundos, del motor del agitador asignándole un alto al Digital Write Pin. Para el SCADA se realiza un rápida variación entre el encendido y apagado del indicador mediante el uso del Shift Register interconectando una negación entre su entrada y salida que nos permite observar la animación del movimiento del agitador. Ver Figura 40.

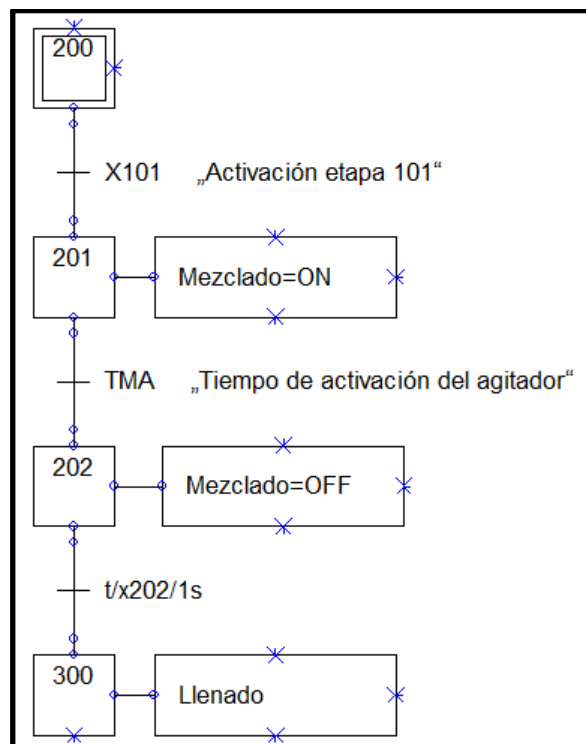


Figura 39: GRAFCET de mezclado

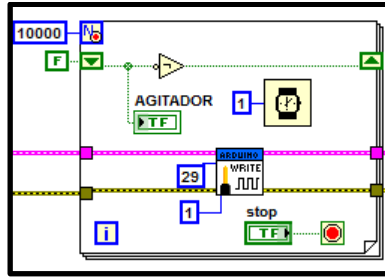


Figura 40: LabVIEW etapa de mezclado

LLENADO DE ENVASE

La etapa de llenado de envase comienza con la bajada del inyector hacia el envase, para que el inyector baje uno de los tres finales de carrera superiores debe estar en alto esto es posible gracias al giro hacia la derecha que se le aplica al motor que controla el elemento, en LabVIEW se lee el valor de los finales de carrera (Pines 47,48 y 49) gracias al Digital Read Pin y se asigna un alto al Pin 35 (inyector bajada). Ver Figura 41.

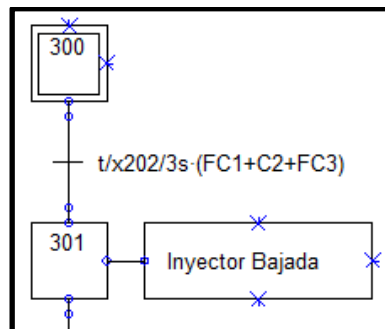


Figura 41: GRAFCET Inyector bajada

El llenado empieza cuando el inyector haya sido detectado por el final de carrera inferior (Pin 46) mediante el Digital Read Pin, el mismo se efectúa durante 5 segundos (For Loop) a través del accionamiento de la bomba (Pin 31) y válvula solenoide (Pin 26) del tanque mezclador por la escritura de un alto en el Digital Write Pin. Ver Figura 42.

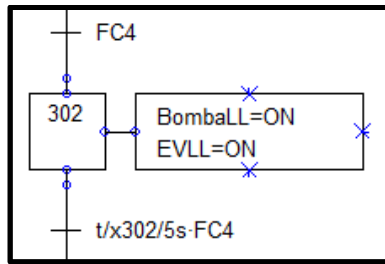


Figura 42: GRAFCET accionamiento de actuadores de llenado

Luego el inyector es enviado a la posición superior, esto es posible aplicando un giro hacia la izquierda al motor (Pin 34), escribiendo un alto en el Digital Write Pin cuando es detectado por cualquiera de los finales de carrera superiores se pasa al siguiente estado el cual trata de la activación de la banda transportadora. Ver Figura 43.

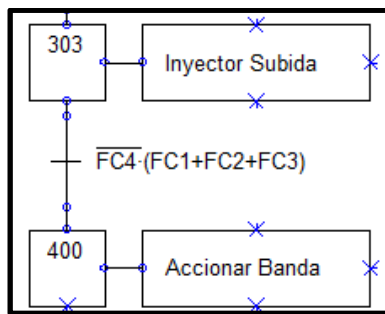


Figura 43: GRAFCET inyector subida

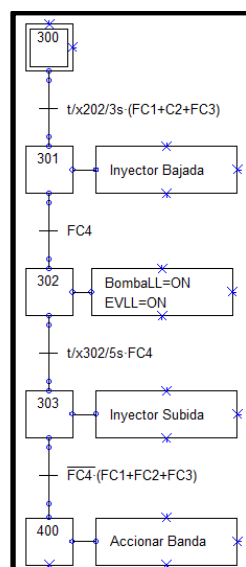


Figura 44: GRAFCET de llenado de envase

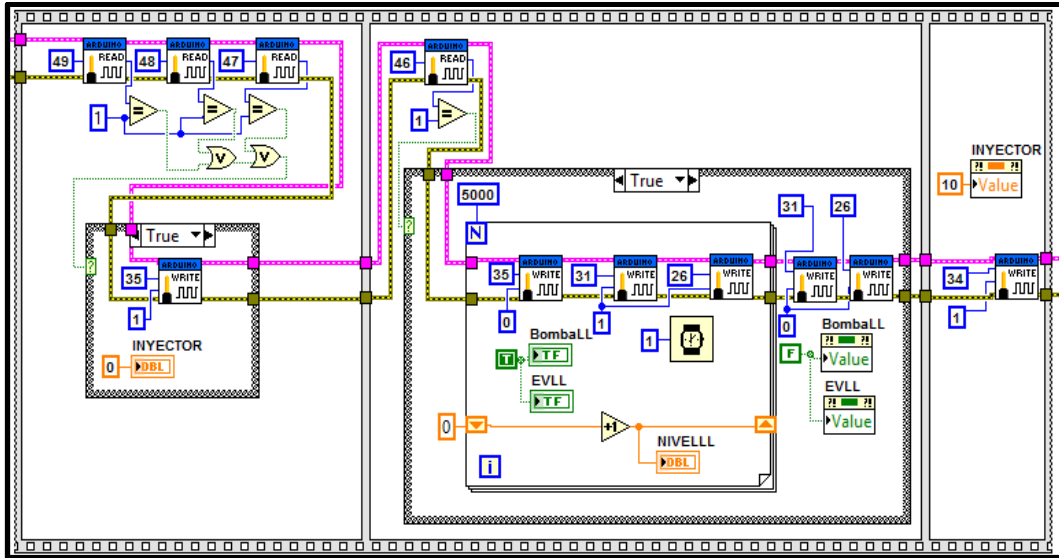


Figura 45: LabVIEW llenado de envase

BANDA TRANSPORTADORA

Para poder activar la banda transportadora primero uno de los finales de carrera superiores del inyector debe detectar un alto en el Digital Read Pin, al detectar el inyector en la posición superior se procede a apagar el motor del inyector (Pin 34) y en simultáneo accionar el motor que permite el transporte del envase (Pin 37) enviando un alto en el Digital Write Pin durante 5 segundos (For Loop).

Al terminar el For Loop se apaga la banda transportadora (Pin 37) asignando un bajo al Digital Write Pin. Ver Figura 46.

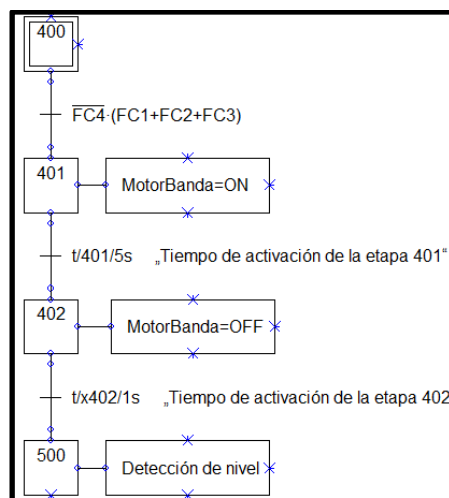


Figura 46: GRAFCET banda transportadora

El recipiente ya ha llegado a la zona de visión artificial y se prosigue con el siguiente estado la detección del nivel de llenado.

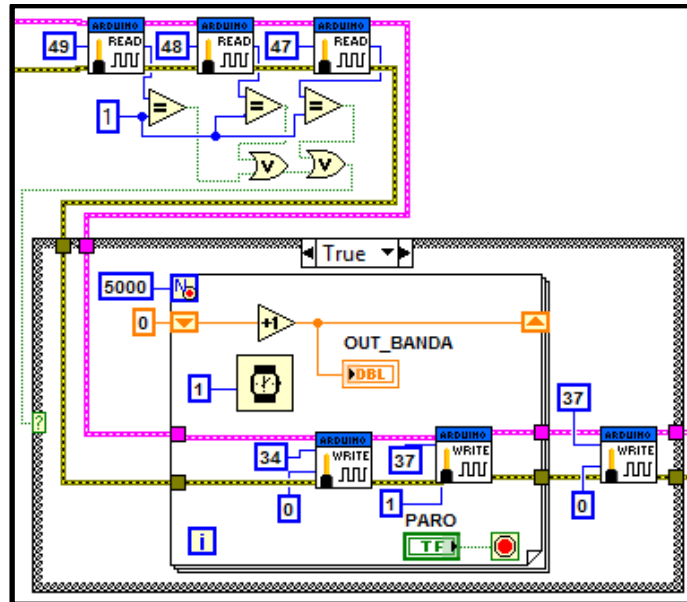


Figura 47: LabVIEW banda transportadora

DETECCIÓN DE NIVEL DE LLENADO

La detección del nivel de llenado está dividido en etapas para cumplir con su objetivo comienza con la adquisición de imagen mediante la cámara USB (etapa 501), en LabVIEW esto es posible gracias a las herramientas de Software NI Vision Acquisition, esa imagen se la convierte en escala de grises (etapa 502) para proceder a seleccionar un patrón (etapa 503) el mismo que será almacenado para su posterior búsqueda y reconocimiento, en LabVIEW esto es posible por las herramientas del software Ni Vision Assistant.

El sistema cuenta con dos patrones predefinidos basados en una imagen adquirida, el primero es el encargado de detectar cuantos envases llegan a la zona de inspección por visión artificial y el segundo es el que nos indica si el nivel de llenado es el correcto, se realiza un contador de ambos patrones para constatar cuantos envases fueron reconocidos y cuantos fueron llenados correctamente (etapa 504).

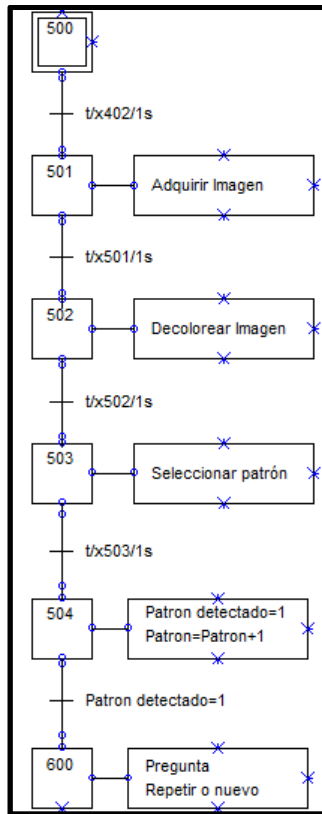


Figura 48: GRAFCET de detección del nivel de llenado

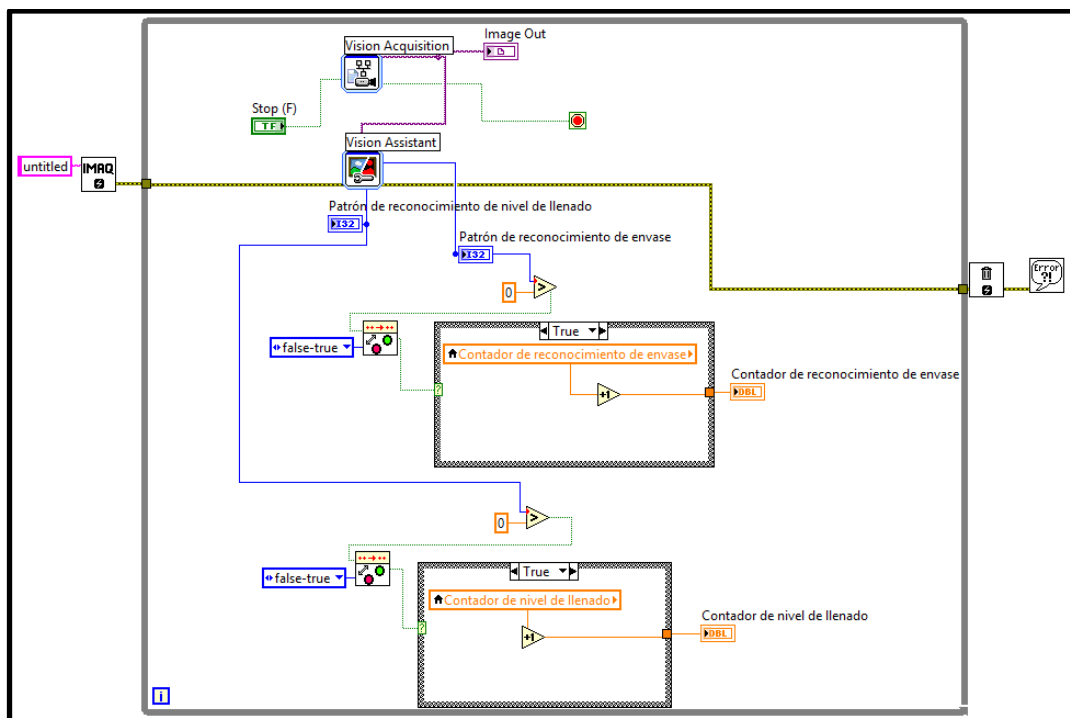


Figura 49: LabVIEW reconocimiento de patrones

REPETIR O NUEVO COLOR

Al seleccionar repetir se salta a la etapa de descarga de color y se repite todo el proceso, ver Figura 50.

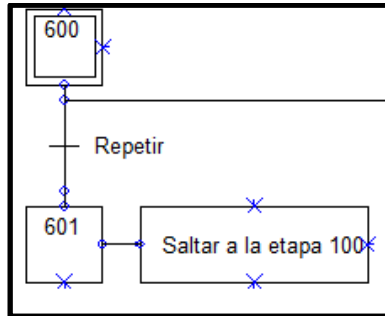


Figura 50: GRAFCET Repetir color

Al seleccionar nuevo color se procede con la limpieza del tanque mezclador mediante la activación de una bomba (Pin 25) y electroválvula (Pin 33) que abastecen de líquido limpiador durante 9 segundos, ver Figura 51.

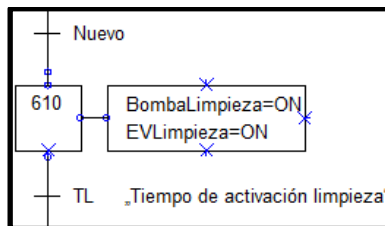


Figura 51: GRAFCET alimentación de líquido limpiador

A continuación se procede con el accionamiento del agitador (Pin 29) para que realice la limpieza del mismo durante 7 segundos, ver Figura 52.

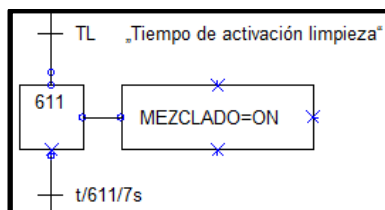


Figura 52: GRAFCET Limpieza a través del agitador

Al apagarse el agitador se procede con el vaciado del líquido del tanque mezclador, mediante una válvula solenoide (Pin 28) hacia un depósito. Cuando se termina con el vaciado se salta a la etapa 11 que es la que nos permite escoger un nuevo color. Ver Figura 53.

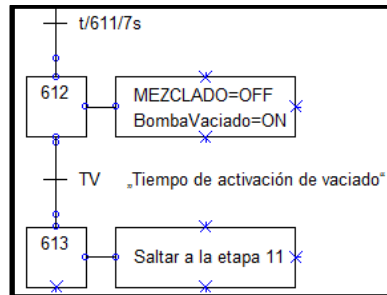


Figura 53: GRAFCET de vaciado del tanque mezclador

En LabVIEW es posible el accionamiento de los cuatro actuadores que intervienen en esta etapa del sistema por la asignación de un alto al Digital Write Pin por un tiempo determinado como se muestra en la Figura 29.

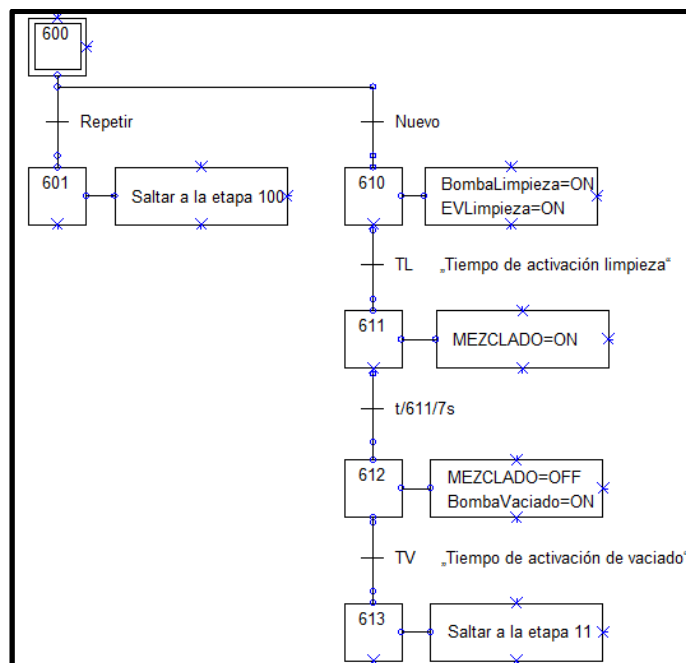


Figura 54: GRAFCET Repetir o nuevo color

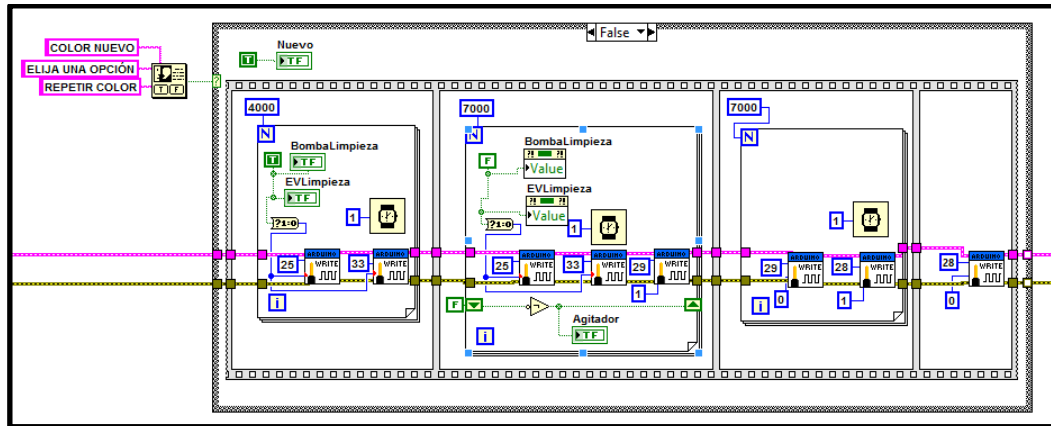


Figura 55: LabVIEW Repetir o nuevo color

2.6 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

2.6.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Según la investigación preliminar para la implementación del sistema, se ha analizado los recursos tecnológicos a utilizar tanto en la parte de hardware, como en la de software.

Con respecto a hardware se tuvo que autofinanciar la mayoría de los equipos y dispositivos para completar la implantación, de acuerdo con la evaluación de los recursos tecnológicos que podría facilitar la carrera, se encontró con elementos que nos servirían en este proyecto. Los cuales se detalla en la siguiente tabla.

Cantidad	Recurso
4	Sensor Final de Carrera
1	Prototipo de Banda transportadora

Tabla 13: Recursos de hardware disponibles

En la parte de software, no hay que invertir en la licencia de Ni LabVIEW, ya que se utilizó la versión demo. Los complementos del mismo y el IDE de Arduino están disponibles de forma gratuita desde su respectiva página web.

2.6.2 FACTIBILIDAD FINANCIERA

En esta sección se tratará sobre el estudio que arrojó como resultado la factibilidad financiera de la implantación del sistema, en el cual se definió los recursos económicos para desarrollar el sistema de inspección por visión artificial. Como se comentó en la sección anterior en el estudio de factibilidad técnica en el laboratorio de electrónica no se cuenta con la mayoría de las herramientas imprescindibles para la implementación del sistema por lo que para el desarrollo de la propuesta se necesita autofinanciar la inversión para la estructura de la planta de ambos procesos, así como de los elementos de control.

INVERSIÓN DE PLANTA

La inversión de planta trata sobre todos los gastos efectuados en la estructura (aluminio), actuadores, tuberías, mangueras, cables para la conexión, accesorios y mano de obra, tales como, trabajos de torno y fabricación de recipientes.

DETALLE	VALOR
Aluminio, accesorios y mano de obra	\$500,00
Tuberías, mangueras y accesorios	\$200,00
Actuadores	\$600,00
Trabajos de torno	\$240,00
Recipientes	\$220,00
Cable y accesorios	\$50,00
Total	\$1810,00

Tabla 14: Costos de planta

INVERSIÓN DE CONTROL

La inversión de control trata sobre los gastos realizados para poder adquirir los elementos utilizados en la automatización de la planta mediante el sistema de inspección por visión artificial, elementos como; controlador, tarjetas de potencia, cámara web USB, fuente de alimentación y accesorios del panel de mando.

DETALLE	VALOR
Panel de mando y accesorios	\$200,00
Tarjetas de potencia	\$40,00
Controlador	\$70,00
Fuente de alimentación	\$60,00
Cámara web USB	\$7,00
Total	\$377,00

Tabla 15: Costos de control

INVERSIÓN TOTAL

La siguiente tabla nos permite visualizar los costos totales para la implementación del sistema.

DETALLE	VALOR
Inversión de planta	\$1810,00
Inversión de control	\$377,00
Total	\$2178,00

Tabla 16: Inversión total para la implementación del sistema

2.6.3 FACTIBILIDAD OPERATIVA

En esta parte del estudio de factibilidad se estima que el sistema se mantenga operativo, puesto que el mismo ha sido elaborado con una interfaz gráfica amigable al usuario, lo que permite que la propuesta sea de fácil empleo y comprensión. Ya implementado el sistema, los estudiantes y docentes de la facultad usarán esta máquina que les brindará una mejor comprensión de la información compartida en clases con temas relacionados a esta propuesta.

La necesidad del sistema propuesto por parte de la carrera, conlleva al asentimiento de este debido a que cubre las necesidades de estudiantes de poder observar y manipular sistemas de control, les servirá de gran ayuda ya que la dosificación y envasado de líquidos son los procesos más utilizados en la industria. Por lo que la propuesta es factible operacionalmente.

2.7 PRUEBAS

En este apartado se muestran los experimentos de funcionamiento de los elementos que intervienen en el sistema, todos ejecutados de manera independiente. Se aplicaron distintas pruebas para revelar errores y obtener conclusiones del proyecto.

2.7.1 PRUEBA 1

Tiempo de descarga de colores primarios ON/OFF

Objetivo

Tomar el tiempo de descarga de colores primarios, aplicando el control ON/OFF de los actuadores que permiten la extracción del líquido.

Criterio de éxito

Se estima que la descarga sea exitosa, si la velocidad es en un tiempo referenciado en 9 segundos por cada color, para poder realizar combinaciones para obtener la tonalidad.

Experimento

El experimento trata en accionar las bombas y válvulas solenoides que permiten la descarga de los recipientes de manera independiente para cada color primario, mediante el control ON/OFF desde el sistema implementado en NI LABVIEW.

La programación para realizar esta prueba es la mostrada a continuación:

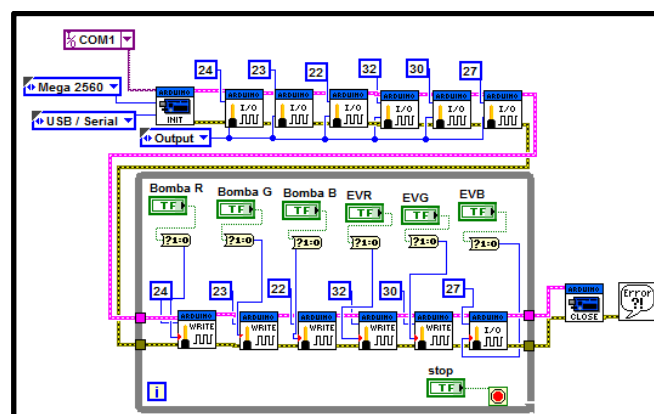


Figura 56: LabVIEW programación prueba 1

Color	Tiempo (s)	Resultado	Observaciones
Rojo	4	Fallido	El tiempo de descarga es muy rápido como para permitir combinaciones entre los colores
Verde	4	Fallido	
Azul	4	Fallido	

Tabla 17: Resultados de prueba 1

2.7.2 PRUEBA 2

Tiempo de descarga de colores primarios PWM

Objetivo

Tomar el tiempo de descarga de colores primarios, aplicando el control de velocidad PWM a las bombas y control ON/OFF a las válvulas solenoides que permiten la extracción del líquido.

Criterio de éxito

Se estima que la descarga sea exitosa, si la velocidad es en un tiempo referenciado en 9 segundos por cada color, para poder realizar combinaciones para obtener las nueve tonalidades de color.

Experimento

El experimento se basa en el accionamiento de las bombas aplicando PWM (Modulación por ancho de pulso) variando sus valores comprendidos entre 0 - 255 mediante un control knob desde Ni LabVIEW para poder alterar la velocidad de descarga de las bombas, en simultaneo al accionamiento de las bombas se activan las válvulas solenoides mediante un control ON/OFF desde Ni LabVIEW que nos permiten la extracción del líquido de los recipientes contenedores de pintura hacia el tanque dosificador, se realiza este experimento de manera independiente para cada color primario.

La programación para realizar esta prueba es la mostrada a continuación:

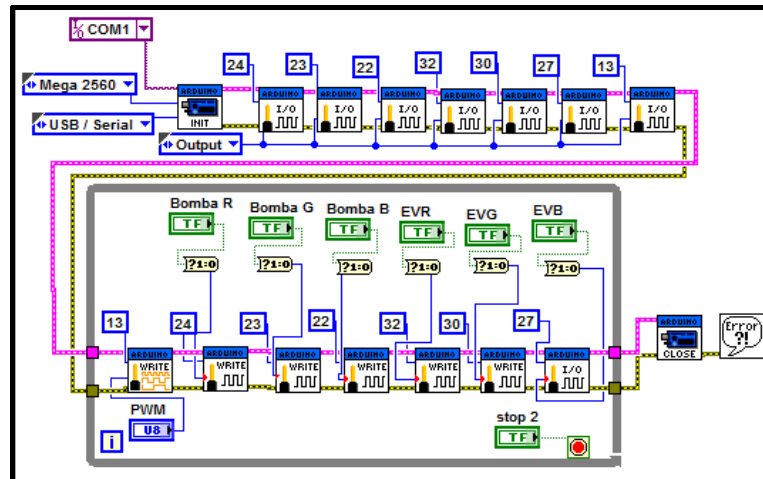


Figura 57: LabVIEW programación prueba 2

PWM	Tiempo (s)	Resultado	Observaciones
100	11	Fallido	El valor 125 de PWM es el idóneo para realizar la descarga
125	9	Exitoso	
175	7	Fallido	
200	6	Fallido	
255	4	Fallido	

Tabla 18: Resultados de prueba 2

2.7.3 PRUEBA 3

Comprobación del caudal en la descarga de los colores primarios

Objetivo

Sensar el caudal descargado de cada recipiente de los colores primarios a través del sensor de flujo.

Criterio de éxito

Se considera la prueba como exitosa si el valor sensado por los tres sensores de flujo uno para cada descarga de los tres colores primarios es aproximadamente igual para garantizar que el contenido que ingrese al tanque mezclador sea el adecuado para proseguir con la mezcla.

Experimento

El experimento consiste en activar las bombas previamente graduadas su velocidad gracias al control por PWM junto a su respectiva electroválvula de manera independiente para cada color primario, en simultáneo ir verificando su valor de caudal mediante el software NI LabVIEW.

La programación para realizar esta prueba es la mostrada a continuación:

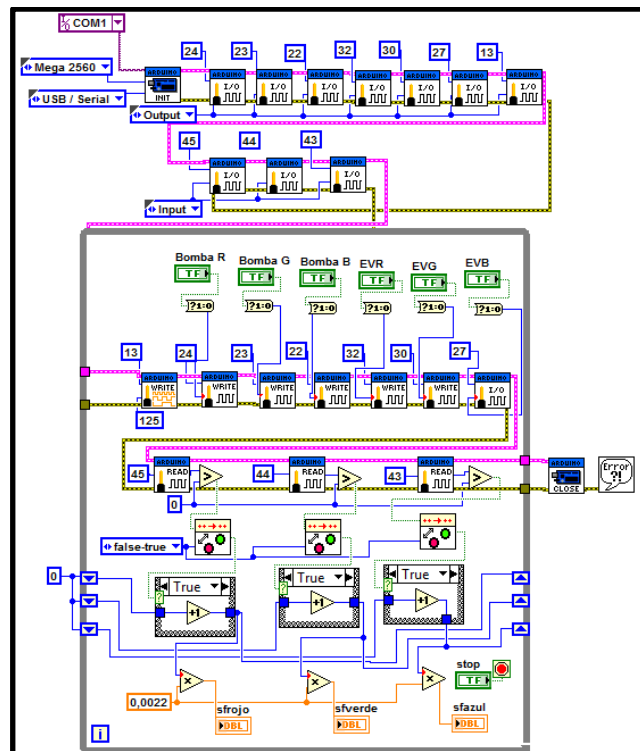


Figura 58: LabVIEW programación de prueba 3

Sensor de Flujo	Tiempo de descarga(s)	Caudal l/min	Resultado	Observaciones
Rojo	9	0,0184	Exitoso	El valor de caudal es aproximadamente el mismo en la descarga de los 3 colores primarios
Verde	9	0,0179	Exitoso	
Azul	9	0,0182	Exitoso	

Tabla 19: Resultados de prueba 3

2.7.4 PRUEBA 4

Tiempo de homogenización de la mezcla

Objetivo

Tomar el tiempo de homogenización de la mezcla después de haber descargado los colores primarios accionando el motor del agitador.

Criterio de éxito

Se considera a la homogenización como exitosa en el instante que se mezclen totalmente todos los colores, por ende no debe ser visible ninguno de los colores primarios.

Experimento

El experimento trata de descargar el líquido de colores primarios hacia el tanque mezclador, activar el agitador y verificar cuanto tiempo se tarda en homogeneizar la mezcla.

La programación para realizar esta prueba es la mostrada a continuación:

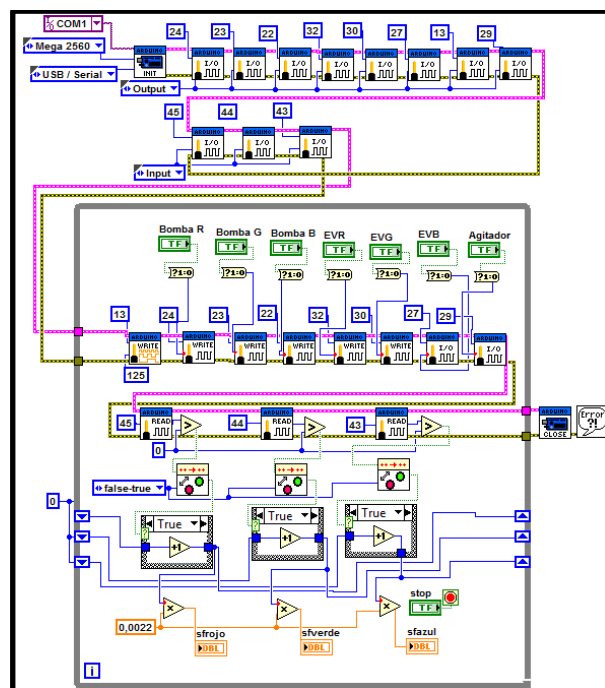


Figura 59: LabVIEW programación de prueba 4

Tiempo (s)	Resultado	Observación
3	Fallido	Se pudo concluir que el tiempo de homogenización de la mezcla es de 10seg
5	Fallido	
7	Fallido	
10	Exitoso	

Tabla 20: Resultados de prueba 4

2.7.5 PRUEBA 5

Obtención de tonalidades

Objetivo

Determinar el tiempo de descarga de los colores primarios y accionamiento del motor del agitador para la obtención de las tonalidades.

Criterio de éxito

Se determina como exitosa a la descarga que conjuntamente con la mezcla permita obtener la tonalidad deseada.

Experimento

El experimento consta del control ON/OFF desde Ni LabVIEW de los actuadores que nos permiten el accionamiento de las bombas con su debida válvula solenoide para dar paso a la descarga de pintura de los colores primarios hacía el tanque dosificador, en paralelo a la activación de la primera descarga se activa el motor del agitador que permite realizar la mezcla de pintura. Se toma los tiempos en segundos de activación de cada actuador que intervienen en esta prueba hasta notar que se consiguió una de las tonalidades deseadas.

Se realizó esta prueba hasta contar con las nueve tonalidades establecidas en el SCADA.

La programación para realizar esta prueba la puede encontrar en la Figura 59.

Color a obtener	Tiempo de descarga color rojo (s)	Tiempo de descarga color verde (s)	Tiempo de descarga color azul (s)	Resultado	Observaciones
Amarillo	5	4	0	Exitoso	Con los tiempos arrojados en esta prueba se puede obtener la tonalidad deseada
Cian	0	4	5	Exitoso	
Magenta	5	0	4	Exitoso	
Esmeralda	2	4	3	Exitoso	
Violeta	3	0	6	Exitoso	
Azul cobalto	0	3	6	Exitoso	
Celeste	2	3	4	Exitoso	
Marrón	6	3	0	Exitoso	
Naranja	6	2	1	Exitoso	

Tabla 21: Resultados de prueba 5

2.7.6 PRUEBA 6

Reconocimiento de patrones

Objetivo

Realizar el reconocimiento de dos patrones previamente almacenados en la memoria del ordenador.

Criterio de éxito

Se estima como exitosa a la prueba si el sistema es capaz de reconocer los patrones dados en la mayoría de sus intentos.

Experimento

El experimento trata de la verificación del nivel de llenado de los recipientes que son transportados por la banda hacia la zona de visión artificial.

La programación para realizar esta prueba se puede visualizar en la Figura 49.

Envases	Patrón 1 (Envase)	Patrón 2 (Nivel de llenado)	Resultado	Observaciones
1	OK	OK	Exitoso	De 10 envases transportados por la banda hacia la zona de visión artificial, un patrón de envase no fue reconocido, por ende su nivel de llenado tampoco
2	OK	OK	Exitoso	
3	OK	OK	Exitoso	
4	OK	OK	Exitoso	
5	OK	OK	Exitoso	
6	OK	OK	Exitoso	
7	OK	OK	Exitoso	
8	NO	NO	Fallido	
9	OK	OK	Exitoso	
10	OK	OK	Exitoso	

Tabla 22: Resultados de prueba 6

CONCLUSIONES

Debido al análisis desarrollado para esta propuesta se logró obtener los tiempos de accionamiento de los actuadores y se definió los patrones del nivel de llenado para su posterior reconocimiento.

Mediante el diseño del trabajo se estableció la ubicación idónea de los actuadores en la planta piloto y se obtuvo la lógica de máquina de estados para el desarrollo del sistema SCADA.

Por medio de la implantación del sistema se pudo obtener una mezcla ideal del producto final en comparación con la realizada de manera manual la cual no es muy precisa.

Por la aplicación de la inteligencia artificial a través de la visión por computador el sistema es capaz de reconocer patrones de nivel de llenado en el proceso de envasado de líquidos, logrando una inspección del producto final eficiente en comparación a la efectuada por la vista humana.

A través de la evaluación del funcionamiento de la planta en conjunto con el SCADA se obtuvo un sistema eficiente con la capacidad similar de un controlador industrial a menor costo.

RECOMENDACIONES

Tener en cuenta la dirección del flujo de los actuadores que intervienen en la descarga y llenado de pintura.

Utilizar sensores de nivel superior e inferior en cada uno de los recipientes de colores primarios para saber el momento exacto en el cual llenar o vaciar el líquido.

Emplear sensores fotoeléctricos que detecten la posición del envase, uno al inicio y otro al final para decidir el momento adecuado en el que se debe accionar o desactivar la banda transportadora.

Adquirir una cámara que tenga mejores características en pixeles y enfoque, capaz de tolerar ambientes con poca iluminación para que el reconocimiento de patrones sea más eficiente.

Aplicar un controlador industrial si la planta va a operar en ambientes con perturbaciones que afecten el funcionamiento del microcontrolador.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Pérez, “Sistemas de inspección para el control de la calidad,” 2003. [En línea]. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/sistemas-de-inspeccion-para-el-control-de-la-calidad/>. [Accedido: 04-Jun-2016].
- [2] P. Ponsa and T. Granollers, “Diseño y automatización industrial,” p. 2, 2009.
- [3] P. Ponsa and T. Granollers, “Diseño y automatización industrial,” p. 4, 2009.
- [4] P. Ponsa and T. Granollers, “Diseño y automatización industrial,” pp. 4–5, 2009.
- [5] P. Ponsa and T. Granollers, “Diseño y automatización industrial,” p. 5, 2009.
- [6] P. Ponsa and T. Granollers, “Diseño y automatización industrial,” p. 13, 2009.
- [7] G. de España, “Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales,” p. 26, 2011.
- [8] J. Cáceres, “Reconocimiento de patrones y el aprendizaje no supervisado,” 2007.
- [9] J. Gutiérrez, “Máquinas de Estados Finitos,” pp. 1–16, 2008.
- [10] C. Rojas and J. Barrera, “Sistema automático programable para la mezcla de productos químicos,” Escuela Politécnica Nacional, 2006.
- [11] J. Crespo, L. Calle, and L. Ordóñez, “Sistema automatizado para mezclar colores,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, 2007.
- [12] M. Redondo, “Diseño e implantación de un sistema SCADA para una planta de producción y envasado de líquidos,” Universidad Autónoma de Barcelona, 2008.
- [13] P. Garaycoa, J. Fierro, and K. Morán, “Diseño e Implementación de Módulo Didáctico de un Sistema Automático de Obtención de Colores de Pintura, Obtenidos a partir de la Mezcla de Colores Primarios y su Respectivo Envasado,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009.
- [14] S. Sagñay and V. Chicaiza, “Estudio comparativo de sistemas de programación convencional y sistemas scada aplicado al módulo mezclador de líquidos y su implementación en un sistema de recetas. Caso practico: Laboratorio de automatización industrial de la EIS,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2010.

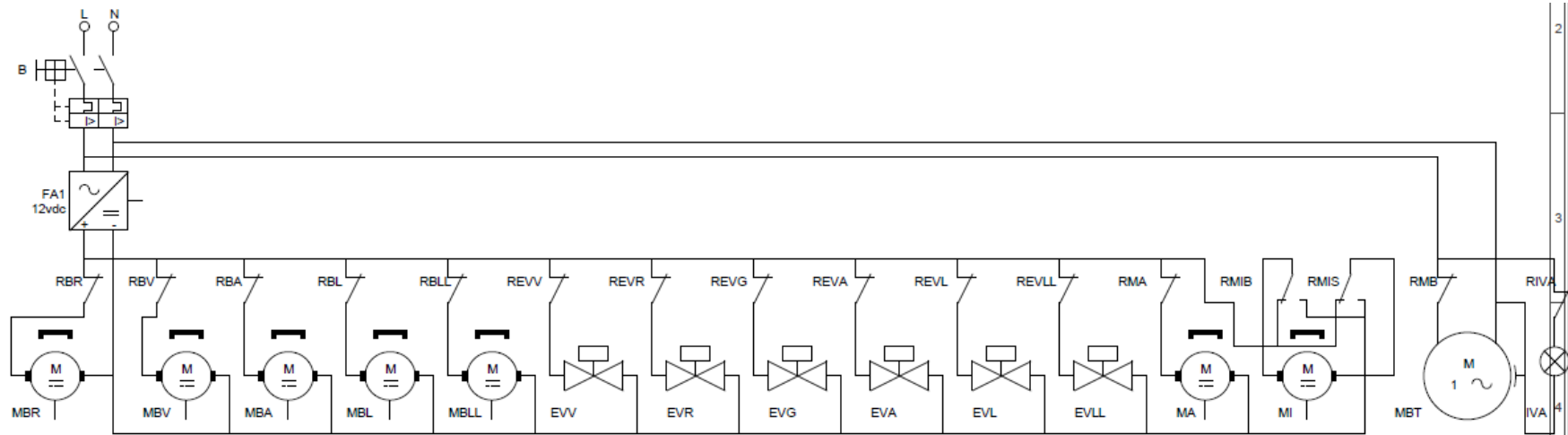
- [15] L. Villalva and E. Echeverría, “Diseño e implementación de máquina automática multifunciones para obtener mermeladas, jugos de fruta y pulpa de fruta pasteurizada,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, 2012.
- [16] M. Quispe, “Diseño de un controlador de proceso industrial utilizando controladores lógico programables de siemens/simatic-s7 interactuando con la planta virtual its y monitorización SCADA,” Universidad Nacional del Altiplano, 2014.
- [17] M. Pacheco, “Automatización de un proceso industrial mediante autómatas,” Escuela Politécnica Superior de Alcoy, 2015.
- [18] H. Gavilánez and E. Albán, “Diseño e implementación de un sistema de control y verificación del nivel de llenado de botellas utilizando LabVIEW y IMAQ Visión,” Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, 2007.
- [19] J. Mendoza and C. Cojitambo, “Aplicación de visión con labview para la detección de nivel de llenado de frascos,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008.
- [20] D. Tello and M. Salcán, “Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de frascos de distinto color,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009.
- [21] G. Murillo and S. Montaluisa, “Control e inspección de llenado de botellas aplicando herramientas de visión artificial para el laboratorio de neumática e hidráulica de la ESPE sede Latacunga,” Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga, 2010.
- [22] J. Cáceres, “Sistema de visión artificial para inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas,” Universidad Técnica de Ambato, 2011.
- [23] L. Villacís and H. Ramos, “Diseño y construcción de un sistema automático de control e inspección de botellas selladas con tapas tipo rosca, para optimizar tiempos en el proceso de empaquetado utilizando procesamiento digital de imágenes,” Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga, 2012.
- [24] I. Amancha, “Visión Artificial para verificar el nivel de llenado en el sistema de embotellado en el laboratorio de control y automatización de la facultad

- de ingeniería civil y mecánica,” Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [25] G. Lozano and J. Orduz, “Diseño de un sistema de visión artificial para la revisión del nivel de llenado de bebidas embotelladas,” Universidad Autónoma del Caribe, 2015.
- [26] J. López, “Sistemas de vacío,” pp. 12–19, 2012.
- [27] J. Aliaga, “Válvula solenoide,” 2015. [En línea]. Disponible en: <http://informaquinarias.blogspot.com/2015/12/valvula-solenoide.html>. [Accedido: 12-Jun-2016].
- [28] Nextiafenix.com, “Caudalímetro YF-S201,” 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.nextiafenix.com/producto/yf-s201/>. [Accedido: 06-Sep-2015].
- [29] ceiisa.blogspot.com, “Interruptores de final de carrera,” 2015. [En línea]. Disponible en: <http://ceiisa.blogspot.com/2015/05/interruptores-de-final-de-carrera-limit.html>. [Accedido: 09-Jun-2016].
- [30] S. Champan, *Máquinas Eléctricas*, 5ta edición. México, 2012. pp. 417-427.
- [31] M. Cortés, *Máquinas de corriente continua*, Primera Ed. Barcelona, 1995. p.1.
- [32] Informaticamoderna.com, “La cámara web,” 2008. [En línea]. Disponible en: http://www.informaticamoderna.com/Camara_web.htm. [Accedido: 09-Jun-2016].
- [33] Dirind.com, “Botoneras,” 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.dirind.com/dae/monografia.php?cla_id=4. [Accedido: 12-Jun-2016].
- [34] Educar Chile, “Dispositivos de protección eléctricos,” pp. 1–2, 2009.
- [35] N. Sotomayor, “Control con microprocesadores,” p. 2, 2009.
- [36] E. Montenegro and E. Sandoya, “Diseño e Implementación de una Tarjeta de Monitoreo y Control en Forma Remota a través de la Internet, utilizando la Tecnología del Microcontrolador PIC18F97J60,” p. 4, 2008.
- [37] M. J. Martín Martínez, “Fuentes de alimentación,” p. 3.
- [38] Ni.com, “Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW,” 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/labview/esa/>. [Accedido: 13-Jun-2016].
- [39] Ni.com, “Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) -

- National Instruments,” 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/labview/labviewdsc/esa/>. [Accedido: 13-Jun-2016].
- [40] Ni.com, “Software NI Vision Acquisition,” 2013. [En línea]. Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/12892>. [Accedido: 13-Jun-2016].
- [41] Ni.com, “Módulo Vision Development,” 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/labview/vision/esa/>. [Accedido: 13-Jun-2016].
- [42] Arduino.cc, “Arduino Software,” 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. [Accedido: 13-Jun-2016].
- [43] J. Espinoza, “Arduino y LabVIEW,” 2012. [En línea]. Disponible en: <https://neutrongeek.wordpress.com/tag/arduino-y-labview/>. [Accedido: 13-Jun-2016].

ANEXOS

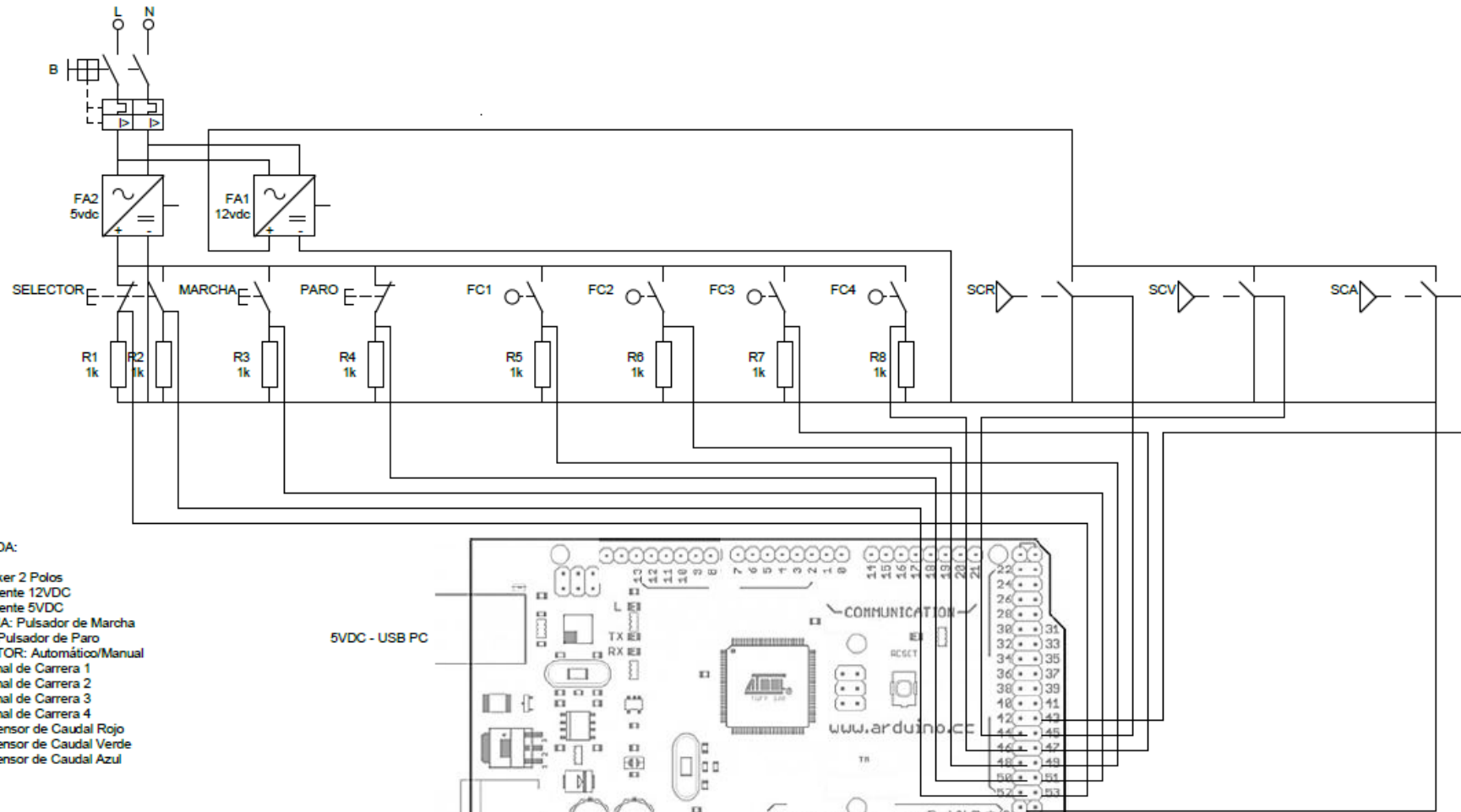
ANEXO 1: Diagrama de Fuerza



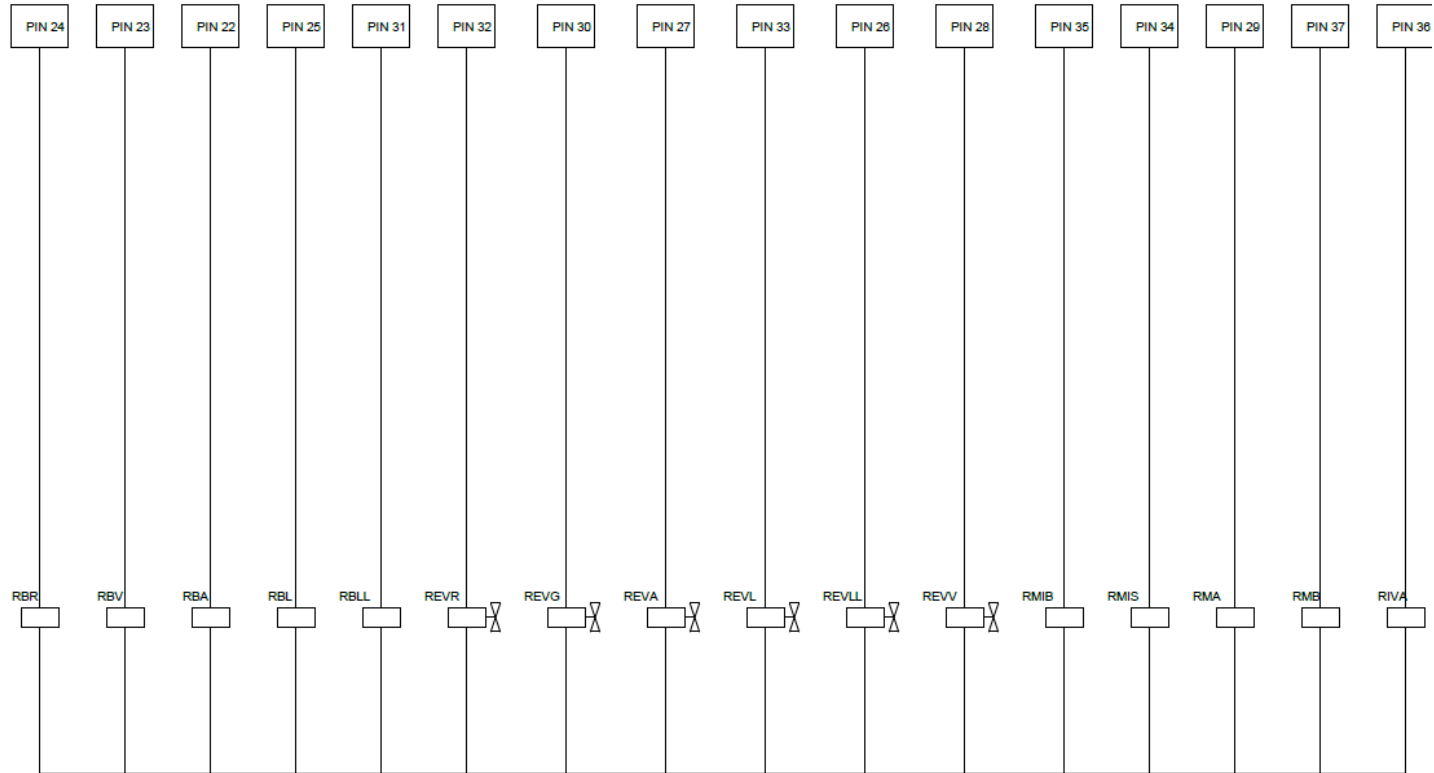
LEYENDA:

- | | |
|---|------------------------------------|
| B: Breaker 2 polos | MBR: Motor de bomba rojo |
| FA1: Fuente 12VDC 30A | MBV: Motor de bomba verde |
| RBR: Contacto relé bomba rojo | MBA: Motor de bomba azul |
| RBV: Contacto relé bomba verde | MBL: Motor de bomba limpieza |
| RBA: Contacto relé bomba azul | MBLL: Motor de bomba llenado |
| RBL: Contacto relé limpieza | EVR: Electroválvula color rojo |
| RBLL: Contacto relé llenado | EVG: Electroválvula verde |
| REVR: Contacto relé electroválvula rojo | EVA: Electroválvula azul |
| REVG: Contacto relé electroválvula verde | EVL: Electroválvula limpieza |
| REVA: Contacto relé electroválvula azul | EVLL: Electroválvula llenado |
| REVL: Contacto relé electroválvula limpieza | EVV: Electroválvula de vaciado |
| REVLL: Contacto relé electroválvula llenado | MA: Motor Agitador |
| REVV: Contacto relé bomba vaciado | MI: Motor Inyector |
| RMA: Contacto relé motor agitador | MBT: Motor Banda |
| RMIB: Contacto relé motor inyector bajada | IVA: Iluminación visión artificial |
| RMIS: Contacto relé motor inyector subida | |
| RMB: Contacto relé motor banda | |
| RIVA: Contacto relé iluminación visión artificial | |

ANEXO 2: Diagrama de control elementos de entrada



ANEXO 3: Diagrama de control elementos de salida



LEYENDA:

- | | |
|---|--|
| RBR: Bobina relé bomba rojo | REVV: Bobina relé electroválvula vaciado |
| RBV: Bobina relé bomba verde | RMIB: Bobina relé motor inyect or bajada |
| RBA: Bobina relé bomba azul | RMIS: Bobina relé motor inyect or subida |
| RBL: Bobina relé bomba limpiez | RMA: Bobina relé motor agitado r |
| RBLL: Bobina relé bomba llenad | RMB: Bobina relé motor banda |
| REVR: Bobina relé electroválvula la rojo | RIVA: Bobina relé iluminación de visión artificial |
| REVG: Bobina relé electroválvula la verde | |
| REVA: Bobina relé electroválvula la azul | |
| REVL: Bobina relé electroválvula llenado | |