



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL
PARA MANIPULACIÓN SIN MEDIO FÍSICO DE UN MODELO DE
PLANTA DISPENSADORA Y MEZCLADORA DE LÍQUIDOS”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: DARÍO XAVIER IZA COFRE

DIRECTOR: Ing. PABLO EDUARDO LOZADA YÁNEZ

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, Darío Xavier Iza Cofre

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Darío Xavier Iza Cofre, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de diciembre del 2020.



Darío Xavier Iza Cofre

050340337-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: Propuesta Tecnológica: “**DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MANIPULACIÓN SIN MEDIO FÍSICO DE UN MODELO DE PLANTA DISPENSADORA Y MEZCLADORA DE LÍQUIDOS**” de responsabilidad del señor Darío Xavier Iza Cofre, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Enrique Guerra Salazar Msc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 JOSE ENRIQUE GUERRA SALAZAR Firmado digitalmente por JOSE ENRIQUE GUERRA SALAZAR Fecha: 2020.12.09 16:09:56 -05'00'	2020-12-09
Ing. Pablo Eduardo Lozada Yáñez Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 PABLO EDUARDO LOZADA YANEZ Firmado digitalmente por PABLO EDUARDO LOZADA YANEZ Fecha: 2020.12.09 16:09:56 -05'00'	2020-12-09
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLAN Firmado digitalmente por EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLAN Fecha: 2020.12.10 17:29:43 -05'00'	2020-12-09

DEDICATORIA

Es mi mayor orgullo dedicar el presente trabajo de titulación primeramente a Dios por darme la fuerza y la perseverancia para poder culminar mis estudios, a mi madre Gloria la cual con su amor, cariño y apoyo me supo guiar durante todo el transcurso de mi vida por eso y muchas cosas más siempre estaré agradecido con ella, a mi padre Luis por sus consejos y ser un ejemplo guiándome por el camino correcto, a mis hermanos por todos los momentos donde vivimos juntos ayudándome cuando más la necesitaba, a mi pareja de la vida Liliana por su amor y comprensión donde supo darme en el transcurso de mi carrera y haberme dado el mejor regalo de la vida mi hija Mónica es como la luz de mis ojos y me da fuerza para seguir superándome desde el día haber nació alegre la vida de todos, al igual a mis amigos por aquellos momentos compartidos de alegría, y a mis hermanos donde han partido hacia un lugar mejor Luis, Mónica ; este logro es para todos ustedes.

Darío

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad, a mi familia quienes de una u otra manera han contribuido a la realización de mi trabajo de titulación, por haberme dado su fuerza y apoyo incondicional, donde me han ayudado a llegar hasta donde estoy ahora y a mis amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías, tristezas y estuvieron a mi lado apoyándome, logrando que mi meta se cumpla. Gracias a todos.

Darío

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv

1. INTRODUCCIÓN

1.1	Planteamiento del Problema	3
1.2	Justificación del proyecto	4
1.3	Objetivos	5
1.3.1	<i>Objetivo General</i>	5
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	5
1.4	Alcance	6

2. MARCO TEÓRICO

2.1	Mezcla de líquidos.....	7
2.2	Sistema de dosificación	8
2.3	Visión artificial	9
2.3.1	<i>Etapas de la visión artificial</i>	10
2.3.2	<i>Elementos de un sistema de visión artificial</i>	11
2.3.3	<i>Ciclo de ejecución del algoritmo de visión</i>	12
2.3.3.1	<i>Interfaz Humano - Máquina (HMI)</i>	13
2.4	SolidWorks	14
2.5	Plataforma Arduino	15
2.6	Motores eléctricos paso a paso	16
2.6.1	<i>Cálculo del torque para selección del motor de paso</i>	16
2.7	Fuente de Alimentación	17
2.8	Monedero Electrónico.....	17
2.9	LabVIEW.....	18

3. METODOLOGÍA

3.1	Descripción de metodología.....	20
3.2	Definición de requerimientos	21
3.2.1	<i>Descripción funcionalidad esperada</i>	22
3.3	Hardware	24
3.3.1	<i>Arduino UNO R3</i>	24
3.3.2	<i>Tarjeta Shield CNC</i>	25
3.3.3	<i>Motor NEMA 17</i>	26
3.3.4	<i>Cámara Philips SPZ2500</i>	27
3.3.5	<i>Ordenador DELL</i>	28
3.3.6	<i>Monedero electrónico</i>	28
3.3.7	<i>Fuente de Alimentación ATX</i>	29
3.3.8	<i>Dosificador de líquidos</i>	30
3.3.9	<i>Diagramas de Conexión del Hardware de la planta prototipo</i>	31
3.4	Software	32
3.4.1	<i>Algoritmo de Visión Artificial</i>	32
3.4.2	<i>Generación de señales de control</i>	40
3.4.3	<i>Algoritmo de control del Microcontrolador</i>	43
3.4.4	<i>Desarrollo de la interfaz gráfica de la aplicación informática</i>	45
3.4.5	<i>Diseño de la planta prototipo</i>	47
3.4.5.1	<i>Estructura base de la planta prototipo</i>	47
3.4.5.2	<i>Sistema de dosificación</i>	48
3.4.5.3	<i>Sujetador de recipientes para la materia prima</i>	50
3.4.5.4	<i>Sistema del transporte</i>	50
3.4.5.5	<i>Planos de la planta</i>	54
3.5	Implementación de la planta prototipo	56
3.5.1	<i>Implementación de módulos de la planta prototipo</i>	56
3.5.2	<i>Planta de Dosificación y mezcla de líquidos</i>	58
3.6	PRUEBAS DEL PROTOTIPO	60
3.6.1	<i>Prueba de reconocimiento de gestos</i>	61
3.6.2	<i>Pruebas para calibración de posicionamiento</i>	64
3.6.3	<i>Pruebas al proceso de dosificación</i>	65
3.6.4	<i>Pruebas de ejecución de procesos o rutinas</i>	68
3.6.5	<i>Pruebas de consumo del prototipo</i>	73

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1	Cronograma	75
4.2	Recursos y materiales: humanos, equipos, financiamiento	75
4.2.1	<i>Costos</i>	76
4.2.2	<i>Talento Humano</i>	76
4.2.3	<i>Recursos Materiales</i>	76
5.	CONCLUSIONES	80
6.	RECOMENDACIONES	76

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Tipos de mezclas homogéneas - disoluciones	8
Tabla 2-3: Características principales de la placa Arduino UNO R3	24
Tabla 3-3: Características de la tarjeta Shield CNC v3.0.....	25
Tabla 4-3: Características eléctricas del Motor NEMA 17	26
Tabla 5-3: Característica de la cámara Philips SPZ2500	27
Tabla 6-3: Características del ordenador	28
Tabla 7-3: Característica del monedero electrónico.....	29
Tabla 8-3: Características de la fuente de alimentación.....	30
Tabla 9-3: Características del dosificador de líquidos.	30
Tabla 10-3: Conexiones realizadas entre el Arduino y la Shield CNC v3.0.....	31
Tabla 11-3: Conexiones de la Shield CNC v3.0 y los motores de paso.....	32
Tabla 12-3: Gestos definidos para el control de la planta prototipo- Acciones	35
Tabla 13-3: Formas de funcionamiento de la planta.....	36
Tabla 14-3: Patrones declarados en el asistente de visión	36
Tabla 15-3: Codificación de estado de los gestos.	42
Tabla 16-3: Acciones del proceso según el número de créditos	45
Tabla 17-3: Propiedades del material del tornillo sin fin	51
Tabla 18-3: Resultado del estudio de tensiones	52
Tabla 19-3: Resultado del estudio de desplazamientos.....	53
Tabla 20-3: Resultado del estudio de deformaciones unitarias.....	54
Tabla 21-3: Eficiencia y tiempo promedios en el reconocimiento de gestos.....	63
Tabla 22-3: Valoración de la Eficiencia total de los Equipos (OEE).....	63
Tabla 23-3: Número de pasos programados para el motor del husillo de transporte	64
Tabla 24-3: Cantidad de líquido dosificada en los recipientes de ensayo.....	66
Tabla 25-3: Secuencias de ejecución del prototipo según el número de créditos y gesto.....	70
Tabla 26-3: Tiempos de ejecución de la secuencia relacionada a cada gesto y créditos	72
Tabla 27-3: Tiempos empleados para cada proceso completo de dosificación y mezcla.	73
Tabla 28-3: Consumo del prototipo en base al consumo de sus elementos	74
Tabla 29-3: Comparación con productos existentes	74
Tabla 1-4: Cronograma.	75
Tabla 2-4: Costos empleados para la construcción de la planta prototipo.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Mezcla homogénea de dos líquidos	7
Figura 2-2:	Cabezales de dosificación de agua.....	9
Figura 3-2:	Relación visión humana con visión artificial.	9
Figura 4-2:	Etapas de un sistema de visión artificial.	10
Figura 5-2:	Proceso con visión artificial para control de calidad de un producto.....	11
Figura 6-2:	Modelos de cámara de visión artificial	12
Figura 7-2:	Ciclo de ejecución del algoritmo de visión artificial	13
Figura 8-2:	Interfaz HMI de alto nivel para manejo de sistemas robóticos	14
Figura 9-2:	Potencialidad de SolidWorks para el diseño de mecanismos	14
Figura 10-2:	Modelos de Arduino	15
Figura 11-2:	Constitución interna del motor paso a paso	16
Figura 12-2:	Diagrama electrónico fuente de alimentación regulable de 24 VCC 4A.	17
Figura 13-2:	Monedero electrónico de la gama de productos Arduino	18
Figura 14-2:	Complementos de LabVIEW – National Instrument	18
Figura 1-3:	Metodología para el desarrollo del proyecto.....	20
Figura 2-3:	Diagrama de funcionalidad del prototipo.....	23
Figura 3-3:	Tarjeta Arduino UNO R3.....	24
Figura 4-3:	Tarjeta Shield CNC v3.0.....	25
Figura 5-3:	Motores Nema 17.....	26
Figura 6-3:	Cámara Philips SPZ2500	27
Figura 7-3:	Ordenador empleado como soporte para el desarrollo de la aplicación.....	28
Figura 8-3:	Monedero electrónico Arduino	29
Figura 9-3:	Fuente de alimentación ATX	29
Figura 10-3:	Dosificador de líquido mecánico	30
Figura 11-3:	Diagrama de conexiones del hardware de la planta.	31
Figura 12-3:	Acciones iniciales para la codificación del algoritmo de visión en LabVIEW	33
Figura 13-3:	Diagrama de flujo de acciones para la definición de patrones.....	34
Figura 14-3:	Interfaz para seteo de la tolerancia.....	37
Figura 15-3:	Gesto patrón definido como “OK”	37
Figura 16-3:	Diagrama de flujo del algoritmo de visión.....	38
Figura 17-3:	Extracto del programa para la adquisición y adecuación de la imagen.	39
Figura 18-3:	Extracto del programa para el tratamiento de la información del asistente de visión.....	40

Figura 19-3:	Diagrama de flujo para la generación de señales de control	41
Figura 20-3:	Evaluación del gesto OK y escritura en el serial.....	42
Figura 21-3:	Diagrama de flujo del algoritmo del microcontrolador.....	44
Figura 22-3:	Diseño de la interfaz gráfica desarrollada en el entorno de LabVIEW	46
Figura 23-3:	Interfaz gráfica resultante en ejecución.....	47
Figura 24-3:	Vistas del diseño de la base estructural del proceso dos dimensiones	48
Figura 25-3:	Sistema mecánico para conmutación de los dosificadores.....	49
Figura 26-3:	Refuerzo para evitar ruptura del dosificador plástico	49
Figura 27-3:	Sistemas de sujeción para los recipientes de botellas	50
Figura 28-3:	Sistema de transporte considerando el diseño.....	51
Figura 29-3:	Planta ensamblada en dos dimensiones en su forma de plano acotado.....	55
Figura 30-3:	Modelo 3D de la planta prototipo y señala las partes principales que la conforman	56
Figura 31-3:	Adecuación de la sección de dosificación.....	57
Figura 32-3:	Dosificadores en conjunto con los sujetadores de botella.....	57
Figura 33-3:	Implementación del sistema de transporte	58
Figura 34-3:	Implementación del sistema de mecanismo de desplazamiento	58
Figura 35-3:	Planta prototipo de dosificación y mezcla completa implementada	59
Figura 36-3:	Estados del mecanismo del accionamiento del dosificador	59
Figura 37-3:	Sistema de transporte - partes	60
Figura 38-3:	Prototipo implementado con sus componentes.....	60
Figura 39-3:	Identificación del gesto OK	61
Figura 40-3:	Identificación del gesto CACHO ALARGADO.....	62
Figura 41-3:	Identificación del gesto DISLIKE.....	62
Figura 42-3:	Ensayos para verificación de capacidad que dispensan los dosificadores ...	65
Figura 43-3:	Cronometrado del tiempo del proceso de dosificación.....	67
Figura 44-3:	Proceso de dosificación en la estación 1	68
Figura 45-3:	Proceso de dosificación en la estación 2	69
Figura 46-3:	Proceso de dosificación en la estación 3	70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DISEÑO DE LA PLANTA – LÁMINAS

ANEXO B: ANÁLISIS ESTÁTICO

ANEXO C: DATASHEET NEMA 17

ANEXO D: PROGRAMACIÓN ARDUINO UNO

ANEXO E: PLANO CON LISTADO DE PIEZAS

ANEXO F: PROGRAMACIÓN COMPLETA LABVIEW

RESUMEN

El presente trabajo de investigación describe el desarrollo de un sistema basado en visión artificial para la manipulación sin medio físico de un modelo de planta dispensadora y mezcladora de líquidos. Se partió del diseño de la planta prototipo empleando la herramienta CAD SolidWorks, se realizó planos y un análisis estático de las partes sometidas a esfuerzos para su validación. Se empleó LabVIEW para la creación de una aplicación informática que centraliza los recursos del sistema. Los paquetes Vision Acquisition y el Vision Assistant del *software* LabVIEW permitieron la codificación de un algoritmo de visión fundamentado en la correlación de imágenes para la identificación de gestos generados con la mano de una persona. Se generó una sección para formulación de señales de control direccionadas a través de comunicación serial hacia un Arduino que en conjunto con un Shield CNC gestionan el manejo de los actuadores de la planta prototipo. Se logró la implementación de la planta determinando la posible ejecución de siete subprocesos controlados a razón de un gesto y un número de créditos específico, logrando obtener dosificaciones simples, mezclas dobles y triples de los líquidos de baja densidad. Se determinó mediante 50 pruebas continuas la eficiencia del sistema de visión al momento de detectar los gestos, consiguiendo una eficiencia promedio del 93.14% y un tiempo de respuesta promedio para el reconocimiento de gestos de 1.81 segundos. Además se comprobó que el prototipo tiene una funcionalidad constante y homogénea, al cronometrar en diez ensayos un tiempo promedio de 22 segundos en el sistema de transporte para movilizar el carro contenedor del envase de una estación a otra, con un tiempo promedio de 14 segundos para el proceso de dosificación. Se recomienda implementar un sistema de control de iluminación, para evitar la continua calibración del algoritmo de visión artificial.

Palabras claves: <VISIÓN ARTIFICIAL>, <PROCESO DE DOSIFICACIÓN>, <PROCESO DE MEZCLA >, <ALGORITMO DE VISIÓN>, <RECONOCIMIENTO DE GESTOS >



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**



28/10/2020

0425-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

This research describes the development of an artificial vision based system for the non- physical handling of a liquid dispensing and mixing plant model. The starting point was the design of the prototype plant using the CAD tool Solid Works, plans were made and a static analysis of the parts under stress was carried out for their validation. LabVIEW was used to create a computer application that centralizes system resources. The vision Acquisition and the Vision Assistant packages of the LabVIEW Software allowed the encoding of a vision algorithm based on the correlation of images for the identification of gestures generated with a person's hand. A section was generated for the creation of control signals directed through sequential communication to an Arduino that, together with a Shield CNC, manages the handling of the operators of the prototype plant. The implementation of the plant was achieved by determining the possible execution of seven sub-processes controlled by a specific gesture and numbers of credits, achieving simple dosages, double and triple mixing of low intensity liquids. The efficiency of the vision system in detecting gestures was determined through 50 continuous tests, achieving an average efficiency of 93.14% and an average response time for gesture recognition of 1.81 seconds. It was also proven that the prototype has a constant and homogeneous functionality, by timing in ten tests an average time of 22 seconds in the transport system to move the container trolley from one station to another, with an average time of 14 seconds for the dosing process. It is recommended to implement a lighting control system, to avoid continuous calibration of the artificial vision algorithm.

Keywords: ARTIFICIAL VISION / DOSAGE PROCESS / MIXING PROCESS / VISION ALGORITHM / GESTURE RECOGNITION.

1. INTRODUCCIÓN

La revolución industrial en la actualidad ha impulsado el desarrollo tecnológico de varias áreas facilitando y mejorando los procesos industriales, por ejemplo, la inserción de la visión artificial en la industria que ha permitido la amplia evolución en varios campos, buscando dotar a aquellas líneas de producción que así lo requieren, una precisión y agilidad cada vez más llevada al término de la cero tolerancia al error. Los sistemas de visión artificial en producción se encargan de adquirir, procesar, analizar y percibir las imágenes con el fin de producir información manejada para la toma de decisiones tanto en tiempo real como en análisis posteriores, porque admite ser usadas en posiciones donde las condiciones ambientales y de seguridad no permitirían la presencia humana. Estos sistemas permiten detectar defectos de forma, color, textura, ubicación, entre otras toda esta versatilidad ha contribuido a que estos sistemas se extiendan en todo tipo de industrias, mejorando el nivel de productividad y servicio ofrecido por una determinada industria alimenticia, química, farmacéutica entre otras.

Se puede considerar que los nuevos paradigmas de interacción se agrupan en dos grandes categorías: (a) aquellos que requieren una interacción física entre el usuario y el sistema y (b) aquellos que no requieren de una interacción física entre el usuario y el sistema. Con sistema se refiere al aula de clase inteligente y los contenidos y con interacción física hace referencia a que el usuario entra en contacto físico con algún componente del sistema para indicarle su intención o lo que quiere hacer (León CAD, 2016, p. 16). La integración de recurso *hardware* y *software* para la automatización de procesos aumenta la potencialidad de un sistema al sumarse las utilidades que proporciona la visión artificial. El gran desarrollo de la visión artificial y a los acontecimientos que han rodeado al mundo, ha surgido la necesidad de contar con sistemas que tomen decisiones en situaciones específicas, que superen las limitaciones del sistema de percepción humano en el sentido de atención. Aunque el ser humano se puede concentrar, por periodos cortos de tiempo, en eventos que considere importantes, la cantidad de información que se procesa e interpreta es usualmente limitada. Sin embargo, la concepción de visión artificial no se limita a reemplazar el sistema humano, sino también sirve como una herramienta de procesamiento de información que extienda la percepción y el razonamiento (Jiménez Ochoa, 2015).

Las empresas industriales actuales se ven sometidas a una competencia global que les han obligado a un proceso enorme de cambio en sus sistemas productivos. Han irrumpido con fuerza las nuevas corrientes de producción asiática como el Just In Time o la filosofía 'Lean' que buscan maximizar la competitividad a partir de un principio básico; reducir los desperdicios. Entre los puntos a reducir o eliminar que forman parte de las citadas filosofías se encuentra reducir la no

calidad hasta eliminarla. Es un sistema dónde la calidad total es primordial y además es importante detectarla a edades tempranas del producto para impedir que las máquinas procesen material defectuoso. Los elementos de visión artificial aplicados a la industria han evolucionado considerablemente buscando cumplir la necesidad de las líneas de producción que necesitan una precisión y una agilidad cada vez más llevada al límite. Los sistemas de visión artificial en producción se encargan de adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes con el fin de producir información numérica o simbólica utilizada para la toma de decisiones tanto en tiempo real como en análisis posteriores. Además, permiten ser usadas en posiciones dónde las condiciones ambientales y de seguridad no permitirían la presencia humana (Fuentes et al., 2014, p. 299).

Citando las aportaciones del francés De Certeau que manifiesta en su obra “La práctica la vida cotidiana (1988) la manera en la que la vida social moderna estaba organizada mediante potentes y complejas estructuras del tipo políticas, económicas, arquitectónicas o logísticas que funcionaban para organizar la manera en la que la gente reflexionaba sobre sus propias vidas y la manera en la que las vivía. En su estudio de la vida cotidiana muestra el profundo nivel sistémico en el que la automatización está afectando mediante su expansión a través de la cultura digital a nuestras sociedades contemporáneas. Esta expansión de los sistemas inteligentes automatizados, servicios y objetos técnicos, afecta a todos los aspectos en los que el capitalismo industrial está transformando a nuestras sociedades desde hace ya varias décadas (Crogan, 2016, pp. 127-140).

Como parte del desarrollo tecnológico la realidad virtual está incursionando cada vez más en diversos aspectos que van desde la cotidianidad domiciliaria hasta la industria moderna, orientando su uso a diversos ámbitos como es la utilización de pizarras digitales las cuales han utilizado la tecnología de Kinect para realizar una percepción tridimensional, es decir con capacidad de detección de profundidad para la construcción de superficies táctiles brindando un concepto más extendido de las pizarras digitales, consiguiendo que cualquier superficie pueda emplearse como una pantalla táctil, pero si bien es cierto seleccionar comandos en pantallas multitáctiles sigue siendo un problema difícil. Si bien se han propuesto varios vocabularios gestuales, estos generalmente están restringidos a uno o dos dedos o pueden ser difíciles de aprender. Un componente muy importante para estos sistemas es aquel que ofrece diversas formas de interacción con el contenido, como por ejemplo, los sistemas de reconocimiento de gestos (Bailly et al., 2012, pp. 673-689).

1.1 Planteamiento del Problema

La visión artificial o visión por computador es un área multidisciplinar que pretende, en cierta medida, reproducir artificialmente el sentido de la vista mediante el procesamiento e interpretación de imágenes, captadas con distintos tipos de sensores fundamentalmente cámaras, y utilizando para ello las prestaciones de los ordenadores. El desarrollo de sistemas de visión artificial requiere una combinación de etapas de más bajo nivel por ejemplo operaciones de eliminación de ruido o de aumento del contraste para mejorar la calidad de las imágenes capturadas junto con otras etapas de más alto nivel para el reconocimiento de patrones y de interpretación de imágenes para reconocer los elementos presentes en una escena. Las aplicaciones de la visión artificial son, en general, muy dependientes del problema concreto a resolver. A modo de ejemplo, pueden destacarse las relacionadas con la medicina, la inspección automática, la geología, el análisis de documentos (Sánchez Calle, 2005, p. 8).

En la actualidad en fábricas modernas e instalaciones industriales, se hace cada día más necesario disponer de sistemas de control o de mando, que permitan mejorar y optimizar una gran cantidad de procesos, en donde la sola presencia del hombre es insuficiente para gobernarlos. La industria espacial y de la aviación, petroquímica, papelera, textil, del cemento, etc. son algunos ejemplos de lugares en donde se necesitan sistemas de control, cuya complejidad ha traído como consecuencia el desarrollo de técnicas dirigidas a su proyecto y construcción. El control automático ha jugado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. Como los avances en la teoría y práctica del control automático brindan los medios para lograr el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejorar la calidad y abaratar los costos de producción, liberar de la complejidad de muchas rutinas de tareas manuales respectivas, etc; la mayoría de los ingenieros tienen contacto con los sistemas de control, aun cuando únicamente los usen, sin profundizar en su teoría (Pérez Alberto et al., 2008, pp. 1-69).

Anualmente, a nivel mundial el promedio de riesgos por accidentes de trabajo es de 42 por cada 1.000 trabajadores con un riesgo de fatalidad de 8.30% por 100.000 trabajadores. En el año 2018 se obtuvieron 15.909 accidentes calificados donde hubo 167 fallecimientos que representa el 1.0% de los accidentes que es considerada una cifra alta. Son ciertas situaciones como por ejemplo entornos con accesos restringidos o con alto nivel de riesgo en contra de la seguridad del operario que impulsan a la inserción de mandos a distancia, que no precisamente relacionen contacto físico del operario con algún elemento de control para manipulación de un proceso; este trabajo se orienta a la generación de una propuesta para generar una herramienta de control basado en visión artificial replicable a cualquier modelo de planta prototipo, experimentalmente evaluado en un prototipo de planta de dosificación y mezcla de líquidos.

1.2 Justificación del proyecto

La inclusión de tecnologías en los procesos productivos ha representado el desarrollo de los mismos, optimizando métodos, respuestas, calidad, eficiencia y efectividad. El aporte de la visión artificial en la industria con algoritmos y *hardware* desarrollados para entornos específicos que han permitido que los procesos de control de calidad por ejemplo se hayan perfeccionado identificando detalles en los productos que tal vez a vista del ojo humano no son percibidos; de igual manera en el sentido de que el operario puede evitar estar en contacto con procesos que involucren ambientes con generación de gases, altas temperaturas, entre varios factores contraproducentes, la visión artificial ha sido empleada como un medio de seguridad permitiendo por medio de actuadores electromecánicos o robóticos gobernados por algoritmo de control y de visión artificial puedan ser autómatas y desarrollar ciertas actividades en los entornos descritos.

El Plan Nacional de Desarrollo Toda una vida 2017-2021 manifiesta el mejorar las condiciones de vida de sus habitantes (Planificación, 2017) y son los organismos del trabajo los que determinan que las enfermedades profesionales y los accidentes de trabajo causan un profundo sufrimiento y la pérdida de gran número de vidas humanas, y su costo económico es elevado por lo que se busca evitar el índice de accidentabilidad aislando a los operarios de entornos inhóspitos con la inclusión de algoritmos de control basados en visión artificial donde el manejo de procesos se lo pueda hacer a distancia sin interacción física con ningún dispositivo, donde las señales de control se puedan emitir únicamente con la evaluación de movimientos, expresiones o gestos del operario (Oficina Internacional del Trabajo, 2003).

En el Ecuador se han emprendido también aplicaciones de la visión artificial en varios campos como por ejemplo aplicaciones para la detección de características en frutas las cuales pueden ser destinadas a la industria alimenticia (Altamirano Tigrero y Pazmiño Oñate, 2018, pp. 1-161), control de calidad de productos terminados empleando un scáner 3D incluyendo tecnología Kinect acorde el trabajo de titulación desarrollado por Logroño & Mishqui, 2016, identificación de condiciones de fatiga en una persona mediante el índice Perclos, utilizando Open CV y una tarjeta Raspberry Pi 3 (López Mena D., 2017, pp. 1-157), detección e identificación de personas en tiempo real (Acuña Escobar Andrés, 2019, pp. 1-106), entre otros.

Fundamentados en trabajos antecesores al planteado se determinó que son varios los campos de aplicación por lo que este trabajo hace referencia a la manipulación de objetos físicos sin necesidad de contacto o elementos intermedios, muchas de las veces se requieren de este tipo de aislamiento para manipulación de sustancias o procesos peligrosos. En vista de la problemática expuesta con el incentivo de la amplia gama de trabajos que incluyen visión artificial y su incidencia para generar alternativas a situaciones desfavorables que suscitan las actividades diarias e industriales se pretende realizar este proyecto que plantea una solución a problemas de

manipulación directa de un modelo de planta piloto dispensadora y mezcladora de líquidos con el fin de innovar con recursos tecnológicos e incluso generar un nuevo producto que podría generar emprendimiento con su comercialización

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema basado en visión artificial para manipulación sin medio físico de un modelo de planta dispensadora y mezcladora de líquidos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Investigar los requerimientos necesarios para la generación de un sistema de visión artificial y el diseño de una planta dispensadora y mezcladora de líquidos.

Dimensionar y seleccionar el *hardware* y *software* necesario para cumplir con los requerimientos planteados.

Implementar la planta dispensadora y mezcladora de líquidos con su respectivo sistema automatizado.

Desarrollar un algoritmo de visión artificial para interactuar con la planta prototipo sin medio un físico empleando gestos dactilológicos.

Realizar pruebas de funcionamiento del sistema para su validación.

1.4 Alcance

Se plantea considerar una planta prototipo para la dosificación de tres tipos de líquidos de baja densidad, para lo cual empleando una herramienta CAD se realizará el diseño de la misma validándolo mediante un análisis estructural, se seleccionará el equipamiento y materiales necesarios para su automatización, proyectados a la selección del *hardware* ideal que proporcione las características necesarias para poder integrar sus variables a un algoritmo basado en visión artificial. Basados en el propósito de control de variables sin necesidad de mantener contacto con elementos de mando, sin interacción con tableros de control y en síntesis sin emplear un medio físico, se insertará una forma de manipulación basada en visión artificial donde el movimiento del miembro superior y específicamente de la mano del usuario mediante gestos dactilológicos permitirá la manipulación de la planta seleccionada.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se fundamentan los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo de este trabajo, para en instancias posteriores hacer uso de criterios en la etapa de diseño e implementación del prototipo. Se plantea tener una definición clara y los elementos que intervienen en un sistema de visión artificial. Además, conceptualizar ciertos términos para la construcción de la planta prototipo.

2.1 Mezcla de líquidos

Las operaciones de mezcla de líquidos se basan en mezclar dos o más componentes líquidos hasta un cierto grado de homogeneidad. Existen tipos de mezclas (De Jesús, 2020):

Mezclas homogéneas o disoluciones: En una disolución, el soluto (el sólido, líquido o gas que se disuelve) se dispersa en forma de pequeñas partículas en el disolvente generalmente un líquido, dando lugar a una mezcla homogénea a nivel molecular (si se cogen muestras cada vez más pequeñas, su composición permanece constante hasta escalas moleculares). La figura 1-2 representa la mezcla homogénea de dos líquidos.

Mezclas heterogéneas o groseras (suspensiones): Las partículas son grandes y a veces pueden observarse incluso a simple vista.

Mezclas coloidales: El tamaño de partícula es intermedio entre una disolución y una mezcla homogénea. Las partículas son relativamente grandes para que, aunque no se observen a simple vista, dispersen la luz. Pero son suficientemente pequeñas para que no se depositen con facilidad. Algunas sustancias tienen moléculas tan grandes que forman necesariamente coloides (coloides moleculares).



Figura 1-2. Mezcla homogénea de dos líquidos

Fuente: <https://n9.cl/px10>

Para el caso de estudio se plantea la realización de mezclas homogéneas o disoluciones, donde al exponer un líquido sobre otro (agua, alcohol) estos proceden a mezclarse como el caso de una

disolución Tipo Líquido (Soluta) – Líquido (Disolvente), como se puede observar en la Tabla 1-3 que representa los tipos de mezclas homogéneas - disoluciones.

Tabla 1-2: Tipos de mezclas homogéneas - disoluciones

SOLUTO		DISOLVENTE	EJEMPLOS
Disoluciones Gaseosas			
Gas	en	Gas	Aire (mezcla de gases)
Líquido	en	Gas	(Si hay gotas presentes, es un sistema coloidal)
Sólido	en	Gas	(Si hay partículas presentes, es un sistema coloidal)
Disoluciones Líquidas			
Gas	en	Líquido	Gaseosa, ácido clorhídrico, amoníaco en agua
Líquido	en	Líquido	Alcohol en agua, gasolina
Sólido	en	Líquido	Sal en agua
Disoluciones Sólidas			
Gas	en	Sólido	Aleación de hidrógeno en paladio (hay dudas sobre si son disoluciones verdaderas)
Líquido	en	Sólido	Benceno en caucho (cemento de caucho)
Sólido	en	Sólido	Aleaciones metálicas

Fuente: (De Jesús, 2020).

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

EL proceso de la mezcla de los líquidos se realizará bajo el concepto de disolución de líquidos que con la ayuda de la caída libre de los líquidos al envase y la agitación que pueda producirse a lo largo del proceso de transporte del producto final generan la mezcla.

2.2 Sistema de dosificación

La figura 2-2 muestra un sistema de dosificación de agua multi-cabezal forjado en acero inoxidable.

Un equipo dosificador puede ser considerado como parte fundamental dentro de una línea de producción, su funcionalidad se basa en el suministro o entrega de materiales o insumos líquidos o sólidos necesarios para la ejecución de un proceso de una manera precisa y rápida, optimizando de esta manera los recursos (Gómez, 2014, p. 11).



Figura 2-2. Cabezales de dosificación de agua

Fuente: <https://n9.cl/her6>

2.3 Visión artificial

Considerada como un subcampo de la inteligencia artificial que tiene como objetivo principal la recopilación de información mediante la utilización de técnicas adecuadas, que permiten la obtención, procesamiento y análisis del entorno físico partiendo de imágenes digitales tomando un computador como herramienta. La visión artificial engloba a cualquier proceso óptico mediante el cual un sistema inteligente es capaz de extraer información de un entorno para su interpretación mediante el uso de la computadora. En un principio los sistemas de visión artificial estaban estrechamente basados en la visión humana como se muestra en la figura 3-2, pero debido a la falta de entendimiento de los procesos que tienen lugar en el cerebro a la hora de interpretar los datos del sistema visual, estos sistemas artificiales resultaron básicamente imprácticos (Jiménez Ochoa M., 2015, pp. 1-193).

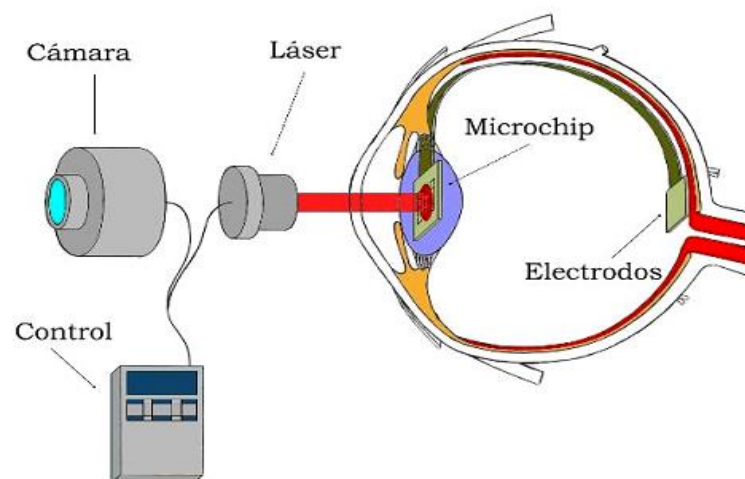


Figura 3-2. Relación visión humana con visión artificial.

Fuente: <https://n9.cl/9lasl>

2.3.1 Etapas de la visión artificial

Se pueden establecer seis procesos como se observa en la figura 4-2 para determinar las etapas de la visión artificial.

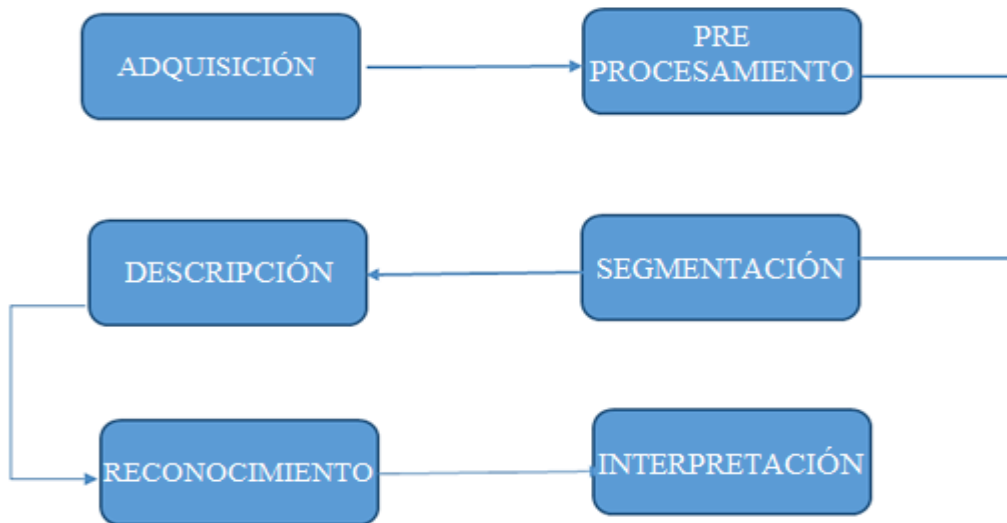


Figura 4-2. Etapas de un sistema de visión artificial.

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020.

1.- La adquisición: se refiere a la obtención de una imagen digital a través de un dispositivo como una cámara digital, video cámara, escáner, telescopio, satélite (García I. Caranqui V., 2015, pp. 95-96).

2.-El preprocesamiento: incluye técnicas tales como la reducción del ruido, mejoramiento del contraste, nitidez de la imagen, realce de ciertos detalles o características de la imagen, restauración de la imagen (García I. Caranqui V., 2015, pp. 95-96).

3.-La segmentación: es el proceso que divide una imagen en objetos o regiones (grupos de píxeles) que sean de nuestro interés de estudio. Esta etapa es una parte muy crítica para el éxito o fracaso de la aplicación (García I. Caranqui V., 2015, pp. 95-96).

4.- La descripción: es el proceso que obtiene características relevantes convenientes para diferenciar un tipo de objeto de otro. Estas características pueden ser externas como la forma, perímetro, eje mayor, eje menor, rectángulo mínimo que contiene la región, excentricidad; o internas como el área, centro de gravedad, patrones de texturas (liso, áspero, regular), color (promedio y mediana de niveles de intensidad, máximo y mínimo de valores de intensidad), entre otros (García I. Caranqui V., 2015, pp. 95-96).

5.- El reconocimiento: es el proceso que clasifica en categorías los objetos presentes en la imagen utilizando los descriptores del proceso anterior. Los objetos detectados que presenten descriptores semejantes se agrupan automáticamente en una misma clase o categoría o con una mínima intervención humana. Para esto se utiliza técnicas como métodos estadísticos avanzados, estructurales (sintáctico), basados en la apariencia, redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos, entre otros. Este proceso en sí mismo es una línea de investigación bastante extensa (García I. Caranqui V., 2015, pp. 95-96).

6.- La interpretación: es el proceso que da sentido o un significado a las clases (categorías) de objetos reconocidos para entender la escena. Trata de emular la visión humana y utiliza técnicas cognitivas para la toma de decisiones. Esta fase depende de cada campo de aplicación (García I. Caranqui V., 2015, pp. 95-96).

2.3.2 Elementos de un sistema de visión artificial

A continuación, se detallan los elementos indispensables dentro de un sistema de visión artificial. La figura 5-2 contiene un proceso industrial en que relaciona un sistema de visión artificial para control de calidad de un producto, donde se puede observar como elemento principal una cámara.

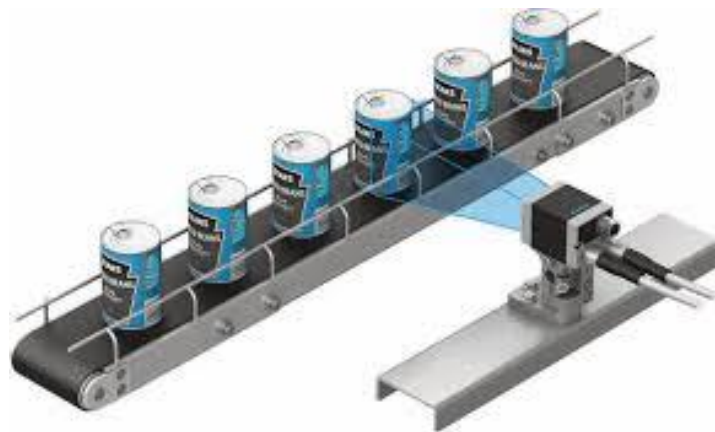


Figura 5-2. Proceso con visión artificial para control de calidad de un producto

Fuente: <https://n9.cl/xd39>

La iluminación es muy importante dentro de un sistema de visión artificial se puede considerar que será el factor que determine la eficiencia de una aplicación. Describiendo el funcionamiento de las cámaras como elementos de captura de la luz que reflejan los cuerpos para su posterior procesamiento. La iluminación tiene como fin el controlar la forma en que la cámara va a ver el objeto para determinar si cumple con las especificaciones requeridas. Optimizar el contraste, normalizar cualquier variación de la iluminación ambiente y simplificar el proceso de tratamiento

posterior de la imagen son los objetivos de la iluminación (Institut la Garrotxa Albert Nogué / Jordi Antiga, 2012, pp. 6).

Para obtener una imagen enfocada de los cuerpos se emplean las ópticas que transmiten la luz al sensor de la cámara de manera controlada. Para la selección adecuado del lente apropiado para aplicación a desarrollarse, es necesario tomar las siguientes consideraciones (Institut la Garrotxa Albert Nogué / Jordi Antiga, 2012, pp. 6):

- Tamaño del sensor de la cámara.
- Distancia entre la cámara y el objeto.
- Campo de visión o tamaño del objeto.

Las cámaras de visión artificial tienen la finalidad de capturar la imagen proyectada en el sensor, mediante las ópticas, para posteriormente direccionarlas a un sistema electrónico para que puedan ser procesadas, almacenadas o visualizadas. En la figura 6-2 se muestran varios de los modelos disponibles en el mercado, se puede observar que los modelos de las figuras 6-2 (a) y figura 6-2 (c) adicionan en su estructura alrededor del lente de enfoque un arreglo propio de leds para la iluminación de su objetivo, mientras que el modelo de la figura 6-2 (b) no dispone de un sistema de iluminación propia (Ruiz, H, 2019, pp. 26).

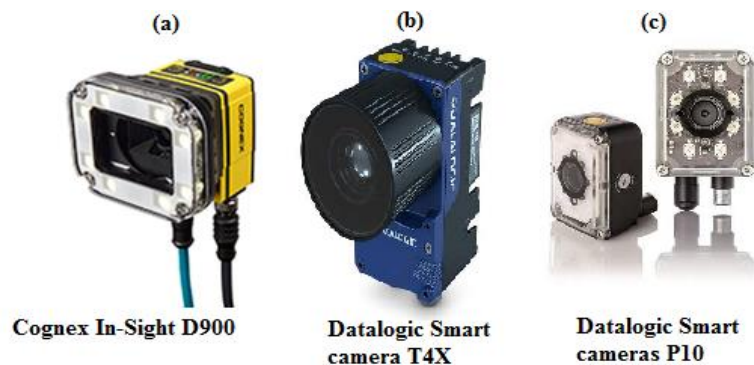


Figura 6-2. Modelos de cámara de visión artificial

Fuente: <https://n9.cl/1n70>

2.3.3 Ciclo de ejecución del algoritmo de visión

La figura 7-2 describe el ciclo de ejecución del algoritmo de visión artificial, se puede observar que representa un ciclo de lazo cerrado manejando el concepto de retroalimentación. Los bloques del sistema de control (Institut la Garrotxa Albert Nogué / Jordi Antiga, 2012, pp. 6):

Captación: representa el proceso de adquisición de una imagen visual del cuerpo a procesarse. La calidad de captación estará relacionada a los niveles idóneos de iluminación y selección del *hardware* correcto.

Instrucciones: Se denominan así a las líneas de código bajo la plataforma de un *software* específico empleadas para la mejorar la captación de la imagen. Se debe considerar que el tratamiento de una imagen involucra el incremento de tiempo por lo que el programador debe ser cauteloso al momento de desarrollar los algoritmos de tratamiento de imágenes.

Procesado: En este punto es donde se dará tratamiento a la imagen para ser mejorada, convertida y analizada en base a las sentencias fijadas por el programador en los algoritmos de visión artificial.

Actuación: Representa la respuesta del sistema donde se podrán generar señales resultantes para ser empleadas en el control de actuadores o generar señales de salida para ser tomadas en otros procesos.



Figura 7-2. Ciclo de ejecución del algoritmo de visión artificial

Fuente: <https://n9.cl/1n70>

2.3.3.1 Interfaz Humano - Máquina (HMI)

Incluye un panel formado por material transmisor de energía que tiene una superficie de contacto en la que se pueden hacer uno o más contactos simultáneamente. Una fuente de energía dirige la energía al panel. El panel transmite la energía recibida de la fuente de energía a la superficie de contacto. Al menos un parámetro de la energía transmitida por el panel se altera en las regiones donde se hacen contactos con la superficie de contacto. Un detector está acoplado al panel y detecta al menos un parámetro de la energía generalmente sobre el área de la superficie de

contacto y emite los valores correspondientes al mismo. Un procesador está en comunicación con el detector. El procesador procesa los valores de salida para determinar las ubicaciones de las regiones de contacto en la superficie de contacto y al menos otro atributo asociado con cada uno de los contactos (Tulbert, 2010, p. 1).

La figura 8-2 evidencia un HMI de alto nivel para manejo de sistemas robóticos que permite la interacción desde dos puntos.



Figura 8-2. Interfaz HMI de alto nivel para manejo de sistemas robóticos

Fuente: <https://bit.ly/3ayO5mt>

2.4 SolidWorks

En la figura 9-2 se puede observar la potencialidad de la herramienta SolidWorks para el diseño y dibujo asistido por computador de mecanismos, en este caso se representa una banda transportadora.

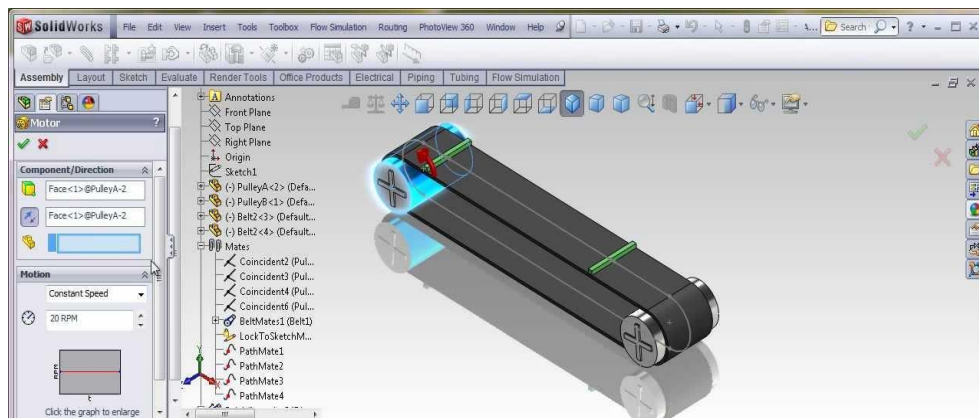


Figura 9-2. Potencialidad de SolidWorks para el diseño de mecanismos

Fuente: <https://n9.cl/2r1x>

El *software* denominado SolidWorks, es un programa que permite a usuarios de alto mediano y bajo nivel crear diseños mecánicos en tres dimensiones, puede realizar ensambles con simulaciones al momento de crear las diferentes piezas, genera un historial que permite modificar operaciones anteriores. Presenta soluciones para varios campos de trabajo contando con sistemas inteligentes que detectan errores de diseños, siendo una herramienta muy útil para ingenieros mecánicos y diseñadores industriales, al finalizar cada pieza de trabajo presenta la opción de seleccionar el material a ser creado, genera análisis de factores externos que puedan dañar al material del diseño, optimizando su desempeño y evaluando el impacto ambiental (SolidWorks, 2019).

2.5 Plataforma Arduino

Es una estructura embebida que aloja un microcontrolador reprogramable con la circuitería que éste requiere para su funcionamiento y la adecuación de sus terminales con borneras que facilitan su conexión. Proporciona la facilidad para adquisición y emisión de señales tanto digitales como analógicas que pueden ser empleadas para aplicaciones de control y monitoreo. Arduino además proporciona una gama de dispositivos complementarios como sensores y actuadores del tipo digital y/o analógico (Arduino, 2020).

En el mercado se los puede encontrar en diferentes modelos como se muestra en la figura 10-2 la variación entre cada uno de ellos se basa en el número de terminales digitales y analógicos, capacidad de memoria, velocidad de procesamiento, entre los parámetros principales, la selección de cualquiera de ellos dependerá del tipo de aplicación en la que se desee utilizar, para el caso de aplicación se emplea un Arduino UNO y su programación se desarrollará en el IDE propio de la plataforma.



Figura 10-2. Modelos de Arduino

Fuente: Arduino, 2020.

2.6 Motores eléctricos paso a paso

Fundamentan su funcionamiento en la generación de movimientos discretos basados en la conversión de información digital, interpretando esto como la proporción de desplazamientos por pasos o ángulos al cambiar el código digital proporcionado. La caracterización de estos motores se basa en el número de pasos por vuelta o, expresado de otra manera, el ángulo por paso (CLR, 2020). La figura 11-2 representa muestra la constitución interna del motor de paso.

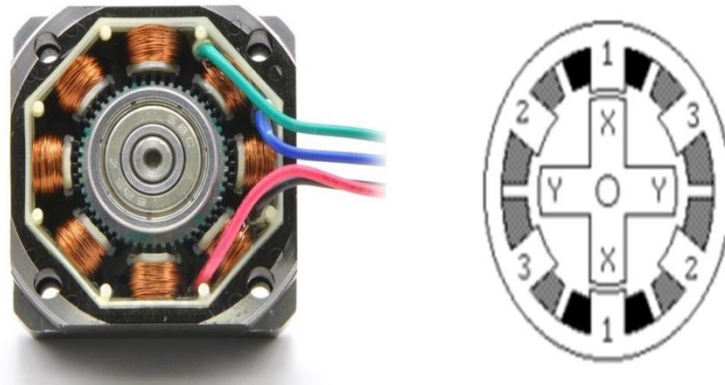


Figura 11-2. Constitución interna del motor paso a paso

Fuente: <https://url2.cl/ChEg4>

2.6.1 Cálculo del torque para selección del motor de paso

Para la selección de los motores paso a paso relacionado con sistemas de transmisión mecánica se realiza un cálculo que determine el valor del torque necesario para desplazar las cargas propuestas.

La fórmula empleada es la siguiente (Micropap, 2020):

$$M_{Motor} = \frac{F * p}{2\pi * \eta} \quad Ec. 1$$

Donde:

Motor (N.cm) = par (torque) que debe suministrar el motor para generar una fuerza de empuje F (N).

P (cm) = paso de la rosca.

η = rendimiento del acoplamiento mecánico dependiendo del tipo de rosca:

0.1= rosca con perfil triangular.

0.5 = rosca con perfil trapezoidal.

0.9 = tuerca con recirculación de bolas.

2.7 Fuente de Alimentación

Se conceptualiza como un dispositivo convertidor de corriente alterna a corriente continua o directa empleada para alimentar circuitos electrónicos de equipos. Proporcionan la facilidad incluso de entregar diferentes niveles de voltajes incluyen generalmente protecciones frente a eventuales inconvenientes en el suministro eléctrico, como la sobretensión (Concepto, 2020). La figura 12-2 representa el diagrama electrónico de una fuente de alimentación regulable de 24VCC, 4 A.

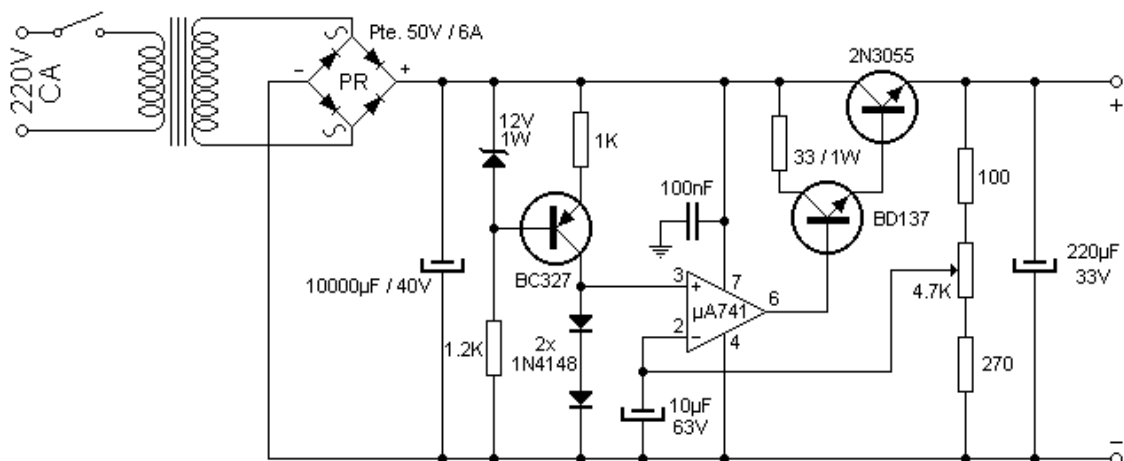


Figura 12-2. Diagrama electrónico de una fuente de alimentación regulable de 24 VCC 4A.

Fuente: <https://n9.cl/jfkhs>

2.8 Monedero Electrónico

Son dispositivos que requieren un voltaje de corriente continua para poder funcionar. Estos entregan un pulso eléctrico que se usa para activar otro circuito. Algunas máquinas como las traga monedas, reciben el pulso eléctrico directamente del monedero, quiere decir que no requieren de ningún otro dispositivo para ser acoplados. Una de las grandes ventajas del monedero electrónico, es que rechaza las monedas falsas, monedas dobladas, de hielo y arandelas. También es más preciso cuando hay dos monedas de tamaño muy similar pero de diferente denominación (Gonzales, 2016). En la figura 13-2 se puede observar el modelo de monedero electrónico de la gama de productos de Arduino.



Figura 13-2. Monedero electrónico de la gama de productos Arduino

Fuente: <https://n9.cl/x6uw>

2.9 LabVIEW

Es un *software* de ingeniería de sistemas que requiere pruebas, medidas y control con acceso rápido a *hardware* e información de datos. Originalmente este programa estaba orientado para aplicaciones de control de equipos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. La figura 14-2 muestra varios complementos que proporciona LabVIEW de la National Instruments para desarrollo de aplicaciones de diferente índole, destacando el paquete de visión que representa el aporte al presente trabajo (Lajara y Pelegri, 2011).

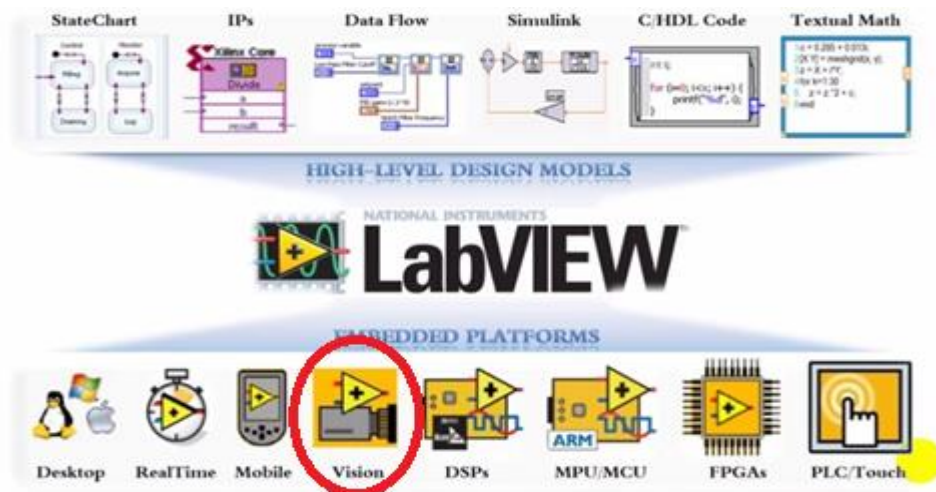


Figura 14-2. Complementos de LabVIEW – National Instrument

Fuente: <https://bit.ly/2swoHMX>

Cada uno de los programas creados en LabVIEW se almacenará en ficheros llamados VI (Virtual Instrument por sus siglas en inglés), aunque en la actualidad se han integrado en una librería llamada VISA, en donde se construye una interface de usuario, o panel frontal, con controles e indicadores (Lajara y Pelegri, 2011).

3. METODOLOGÍA

Este capítulo, fundamentado con el sustento teórico revisado en el Capítulo II presenta la forma en la que se desarrolló el trabajo, incluyendo los requerimientos planteados para la implementación del prototipo, la descripción de las actividades para diseño e implementación de la planta prototipo, la codificación del algoritmo de visión, configuraciones de *hardware* y *software* y pruebas de funcionalidad que permitieron determinar la funcionalidad del prototipo.

3.1 Descripción de metodología

En la figura 15-3 se muestra el conjunto de pasos adoptados como metodología para el desarrollo del proyecto y poder alcanzar los objetivos planteados.

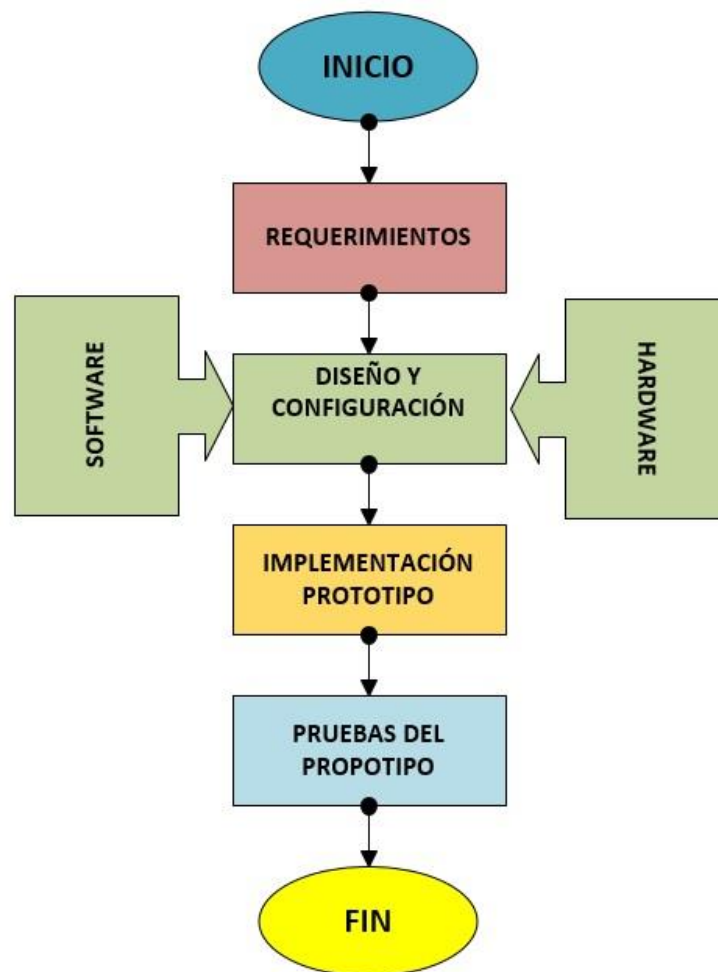


Figura 1-3: Metodología para el desarrollo del proyecto

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

La metodología para la implementación del prototipo parte de:

La definición de requerimientos, los mismos que están dados de acuerdo a la conceptualización de los elementos necesarios dentro de lo que representa el desarrollo de un sistema de visión artificial y la construcción de un modelo de planta prototipo para la dosificación y mezcla de líquidos de baja densidad.

El bloque de diseño y configuración hace referencia a los aspectos referentes a la selección de *hardware* y *software* que sirvan como soporte para la implementación del prototipo objetivos específicos tales como el diseño estructural de la planta prototipo modelo, la diagramación de circuitos eléctricos y programación de algoritmos de visión artificial. Posteriormente se procederá a la implementación del prototipo que representa la vinculación de todos los elementos de *hardware* y *software* para generar el prototipo final esperado.

Las pruebas del prototipo son aquellas valoraciones que determinarán la eficiencia de trabajo del sistema, donde se podrán calibrar ciertos parámetros en forma experimental hasta alcanzar los mejores resultados y poder validar la funcionalidad del sistema.

La metodología representa un trabajo de campo fundamentado en conceptos teóricos para solidificarlos en forma práctica. A continuación, se presenta el desarrollo de las actividades descritas.

3.2 Definición de requerimientos

Para el desarrollo de un trabajo se parte por definir los requerimientos o necesidades que debe cumplir un sistema para actuar como mejora de algo o ser la solución a una situación adversa, en esta ocasión al definir la problemática se mencionaba el buscar la manera de aislar a un operario de un proceso que pudiese relacionar un nivel de riesgo para él, mediante la generación de un algoritmo de control basado en visión artificial, si bien es cierto la planta tomada para experimentación no representa un ente de riesgo alto pero servirá para pruebas del algoritmo y el diseño del mismo deberá apuntar a la flexibilidad de ser replicado a entornos similares con procesos diferentes.

La planta prototipo permitirá realizar la dosificación y mezcla de tres líquidos de baja densidad y viscosidad, definiendo como entorno específico de aplicación trabajar con licores. La dosificación se debe realizar de manera homogénea y de un ciclo por estación, el volumen de dosis se determina acorde a la capacidad del dosificador.

A continuación, se determinan los requerimientos específicos para el desarrollo de la planta prototipo:

Requerimientos *Hardware*

- Establecer el controlador y actuadores para el manejo y ejecución de acciones programadas para la planta prototipo.
- Definir el equipamiento necesario para la adquisición de información para el sistema de visión artificial.
- Determinar el equipamiento para asignación de señales habilitantes y discriminatorias para control de acciones en el prototipo.

Requerimientos *Software*

- Codificar un algoritmo de visión artificial para la identificación de gestos preestablecidos realizados con las manos.
- Desarrollar una aplicación informática que permita la interacción del sistema de visión artificial con la planta prototipo relacionando el resultado de la identificación de los gestos con señales de control hacia el entorno físico para la manipulación de actuadores instalados y ejecución del proceso.

Requerimientos Estructurales

- Mediante el uso de una herramienta CAD generar el diseño de la planta prototipo y previo a su implementación validarlo considerando la ejecución de un análisis estático de la o las piezas expuestas a esfuerzos que puedan provocar su deformación o ruptura.

3.2.1 Descripción funcionalidad esperada

Con el fin de entender de mejor manera la funcionalidad esperada del prototipo, se plantea en la figura 16-3 un diagrama de funcionalidad del prototipo con los elementos descritos como necesarios en los requerimientos citados anteriormente.

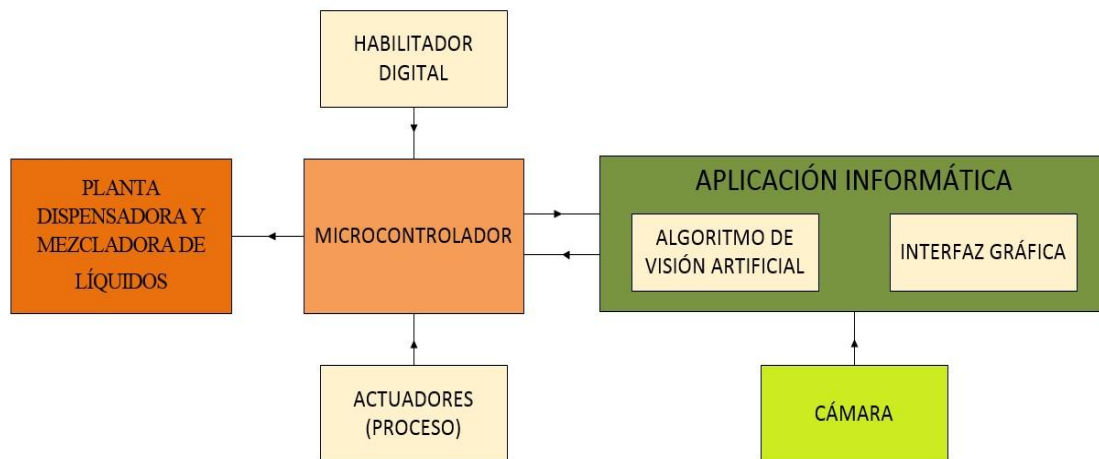


Figura 2-3: Diagrama de funcionalidad del prototipo.

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

A continuación, se presenta la descripción de la funcionalidad esperada del sistema con una descripción del diagrama presentado.

El prototipo contará con un elemento de control que se encargue de enlazar los elementos de la planta modelo con la aplicación informática. Inicialmente este controlador se encargará de leer el estado de un habilitador digital y dicha información será enviada para su procesamiento en la aplicación informática, la misma que de acuerdo a este estado habilitará o no el funcionamiento del sistema.

En el caso del ingreso de la moneda tenemos dos procesos:

- El sistema no sea habilitado: La aplicación informática ejecutará de manera local el algoritmo de visión artificial donde el reconocimiento de los patrones establecidos para el control será identificado, pero no representarán ninguna acción en la planta.
- Cuando el sistema se habilite: La aplicación informática ejecutará el algoritmo de visión artificial donde el reconocimiento de cada uno de los patrones establecidos y ejecutará una acción específica en la planta prototipo acorde al diseño del sistema. Para la interacción con el prototipo la aplicación informática generará señales de control que serán recibidas por el controlador, el mismo que las procesará y gestionará el funcionamiento de los actuadores de la planta prototipo modelo para ejecución del proceso.

La ejecución de una secuencia completa del proceso que se habilite en la planta representará el reseteo del mismo hasta recibir una nueva señal de habilitación.

Se define como caso de estudio la dosificación y mezcla de licores, las combinaciones de mezclas se las definirán a lo largo del desarrollo del trabajo.

3.3 Hardware

En este punto se determinan los recursos *hardware* empleados en la implementación del prototipo para el cumplimiento de los requerimientos planteados.

3.3.1 Arduino UNO R3

Es un medio de enlace entre la aplicación informática y el entorno físico que relaciona la planta prototipo. Se lo consideró como la interfaz para realizar la comunicación serial y gestionar el tráfico de información, el manejo de señales digitales de entrada y salida. Además, la disponibilidad de Shields acoplables a su estructura para expandir su funcionalidad, su disponibilidad en el mercado, su costo, entre otras cualidades de esta placa que lo hicieron óptimo para la aplicación. En la figura 17-3 se muestra la tarjeta Arduino UNO R3. A continuación, se presenta en forma resumida en la tabla 2-3 las características principales de la placa Arduino UNO R3.



Figura 3-3: Tarjeta Arduino UNO R3

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Tabla 2-3: Características principales de la placa Arduino UNO R3

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Microcontrolador:	ATmega328
Voltaje Operativo	5V
Voltaje de Entrada	7-12V
Voltaje de Entrada (límites)	6-20V
Pines digitales de Entrada/Salida:	14 (6 proveen salida PWM)
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida	40 Ma
Corriente DC entregada en el Pin	3.3V: 50 mA
Memoria Flash	32 Kb de los cuales 0.5 KB usados por el bootloader

Memoria SRAM	2KB
Memoria EEPROM	1KB
Velocidad de Reloj	16 MHz
Forma de alimentación	Fuente externa o por USB
Interfaz de comunicación	USB/Serial

Fuente: (Arduino, 2020).

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.3.2 Tarjeta Shield CNC

Es una pequeña placa que permite controlar hasta 4 motores paso a paso fácilmente con un Arduino gracias a su formato Shield. Soporta 4 controladores de potencia Pololu A4988 o Pololu DRV8825 y dispone de todas las conexiones necesarias para conectar interruptores de final de carrera, salidas de relé y diversos sensores. Puede ser utilizada con cualquier modelo de Arduino, aunque se recomienda utilizar un modelo del tipo Arduino UNO o Arduino Leonardo (Guamán, 2019). En la figura 18-3 se puede visualizar la tarjeta Shield CNC v3.0 y en la tabla 3-3 se describen las características de la tarjeta Shield CNC v3.0.

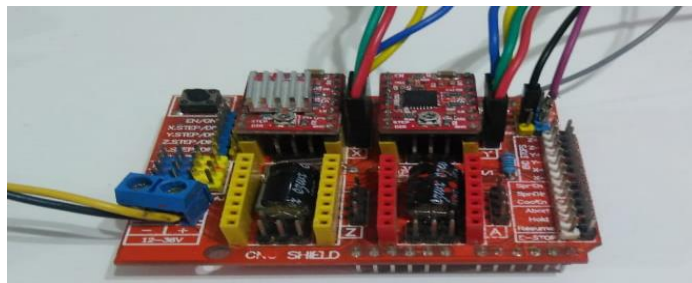


Figura 4-3: Tarjeta Shield CNC v3.0

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Tabla 3-3: Características de la tarjeta Shield CNC v3.0

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Compatibilidad con GRBL	Si
Soporte para N ejes	4 ejes (x, y, z, A)
Pines para finales de carrera	6 pines (2 por eje)
Dirección y habilitación del husillo	Si
Refrigerante	Si
Drivers compatibles	A4988 y DVR8825
Diseño	Compacto
Tipo de pines para motores	Molex para 4 pines
Alimentación	12 – 36 VCC

Fuente: (Guamán, 2019).

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

En esta aplicación se utilizó dos de sus controladores considerando que existe un sobredimensionamiento en el sistema con el fin de que en trabajos futuros se pueda añadir más recursos al sistema.

3.3.3 Motor NEMA 17

Es un actuador que se basan en la exactitud que posee respecto a la posición, la precisión en el arranque y parada del motor, además de la fuerza mecánica que poseen. La figura 19-3 representa el motor de paso NEMA 17 y en conjunto con la tabla 4-3 enuncian sus principales características eléctricas:



Figura 5-3: Motores Nema 17

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Tabla 4-3: Características eléctricas del Motor NEMA 17

Motor NEMA 17	
Tipo de Motor	BIPOLAR
Pines	4 pines dos por cada bobina (Bobina 1 (A1,B1), Bobina 2 (A2, B2))
Ángulo de motor	1.8°
Par de retención (Holding Torque)	0.26 N-m (36.8 Oz-in)
Corriente nominal / fase	0.4 A
Resistencia de fase	30 ohms
Tensión recomendada	12 V
Inductancia	37mH ± 20%(1KHz)

Fuente: (Valderrama, Alexis, 2020)

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.3.4 Cámara Philips SPZ2500

Este dispositivo permite la captura de las imágenes que son el suministro para el algoritmo de visión artificial, donde las mismas serán procesadas y analizadas para los fines pertinentes.

Para ejecutar la adquisición de imágenes en este proyecto se dispuso como se observa en la figura 20-3 una cámara Philips SPZ2500, cuyas características se exponen en la Tabla 5-3.



Figura 6-3: Cámara Philips SPZ2500

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Tabla 5-3: Característica de la cámara Philips SPZ2500

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Resolución del sensor	VGA (640 x 480 píxeles)
Resolución de la captura de vídeo (máx.)	1.3 MP (<i>software</i> mejorado con Philips CamSuite instalado)
Resolución de las fotos (máx.)	1.3 MP (<i>software</i> mejorado Philips CamSuite instalado) 5.0 MP (<i>software</i> mejorado con Philips CamSuite y Webcam Driver SPZ2000/SPZ2500 instalados)
Cuadros por segundo	30 cps máx. en VGA
Número F de la lente	F2.4
Ángulo de visión de la lente	55 grados
Iluminación mínima del sujeto	< 10 lux
Formato de vídeo	YUY2, RGB24 y I420 (con Webcam Driver SPZ2000/SPZ2500 instalado)
Micrófono	Micrófono integrado con mejora de audio
Sistema operativo Windows®	Windows® 7, compatible con Vista y XP
Interfaz USB	USB 2.0 de alta velocidad

USB clase de vídeo	Compatible con UVC
Longitud del cable USB	1.5 m
Alimentación	Suministrada a través del cable USB; 5 V CC, 0.15 A

Fuente: (Koninklijke Philips Electronics N.V., 2011)

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.3.5 Ordenador DELL

En la figura 21-3 se muestra el ordenador empleado como soporte para el desarrollo de la aplicación, contemplado como idóneo previo a la revisión de requerimientos mínimos para ejecución de LabVIEW. La tabla 6-3 describe las principales características del ordenador.



Figura 7-3: Ordenador empleado como soporte para el desarrollo de la aplicación

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Tabla 6-3: Características del ordenador

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Marca	Dell
Procesador	Intel ® Core (TM) i7 – 4510U CPU © 2.00 GHz 2.60 GHz
Memoria instalada RAM	8GB
Sistema Operativo	Windows 10, de 64 bits, procesador x64
Resolución de pantalla	1024 x 768 píxeles

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.3.6 Monedero electrónico

Para el control de créditos, en señal de discriminación de ejecución de subprocesos se emplea un monedero electrónico Arduino como se observa en la figura 22-3, cuyas características se exponen en la Tabla 7-3.



Figura 8-3: Monedero electrónico Arduino

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Tabla 7-3: Característica del monedero electrónico

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Diámetro de la moneda aplicable	12mm a 29mm
Grosor de la moneda aplicable	1mm a 3mm
Voltaje de funcionamiento	DC, 12 V + 20%
Temperatura de funcionamiento	-20 ~ + 70 °C
Color	Plata
Tamaño	64*143*123mm

Fuente:(González, 2016)

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020.

3.3.7 Fuente de Alimentación ATX

La figura 23-3 muestra la fuente de alimentación encargado de proveer toda la energía a planta prototipo es una fuente de poder que es alimentada desde la red eléctrica, su selección se fundamenta en base al análisis del consumo a plena carga del *hardware*. En la Tabla 8-3, se indican las características de la fuente de alimentación ATX.



Figura 9-3: Fuente de alimentación ATX

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Tabla 8-3: Características de la fuente de alimentación AXT.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Voltaje Entrada	100-220 V AC
Voltaje Salida	24 VCD
Corriente máxima	10 A
Potencia	240 W

Fuente:(PROMETEC, 2015)

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.3.8 Dosificador de líquidos

Se empleó dosificadores de líquido mecánicos, en la figura 24-3 se observa el dosificador empleado en estado de reposo figura 25-3 (a) y comprimido figura 25-3 (b); su funcionamiento se lo interpreta de la siguiente manera, dispone de dos estados: uno cuando no está comprimido, es decir, no hay flujo de líquido, el otro cuando está comprimido cuando habilita el flujo. En la Tabla 9-3, se indican las características del dosificador de líquidos.

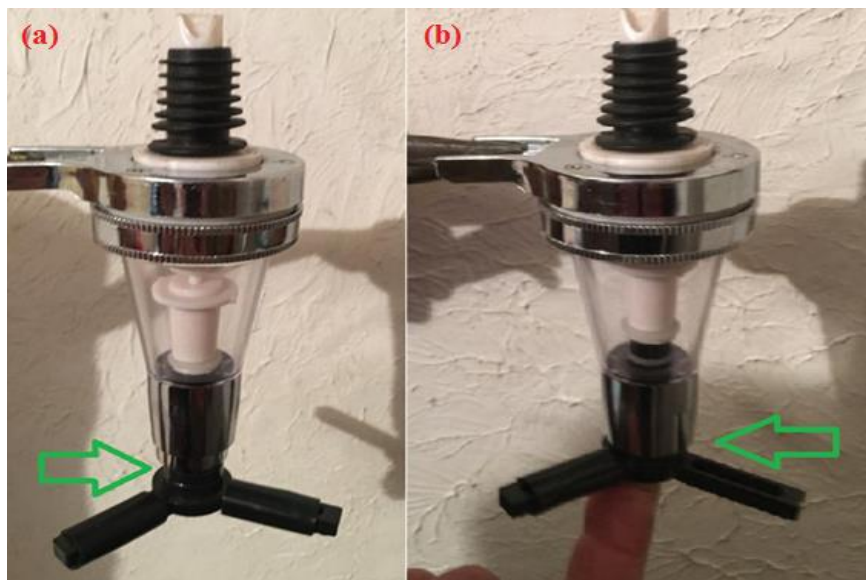


Figura 10-3: Dosificador de líquido mecánico

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Tabla 9-3: Características del dosificador de líquidos.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Carrera del activador	14mm
Fuerza para activación	4Kgf
Capacidad de la cámara de dosificación	35ml

Fuente:(Vázquez A, 2014)

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.3.9 Diagramas de Conexión del Hardware de la planta prototipo

En la figura 25-3 se puede apreciar el diagrama de conexiones eléctricas del prototipo fundamento para posteriormente proceder a su configuración y programación.

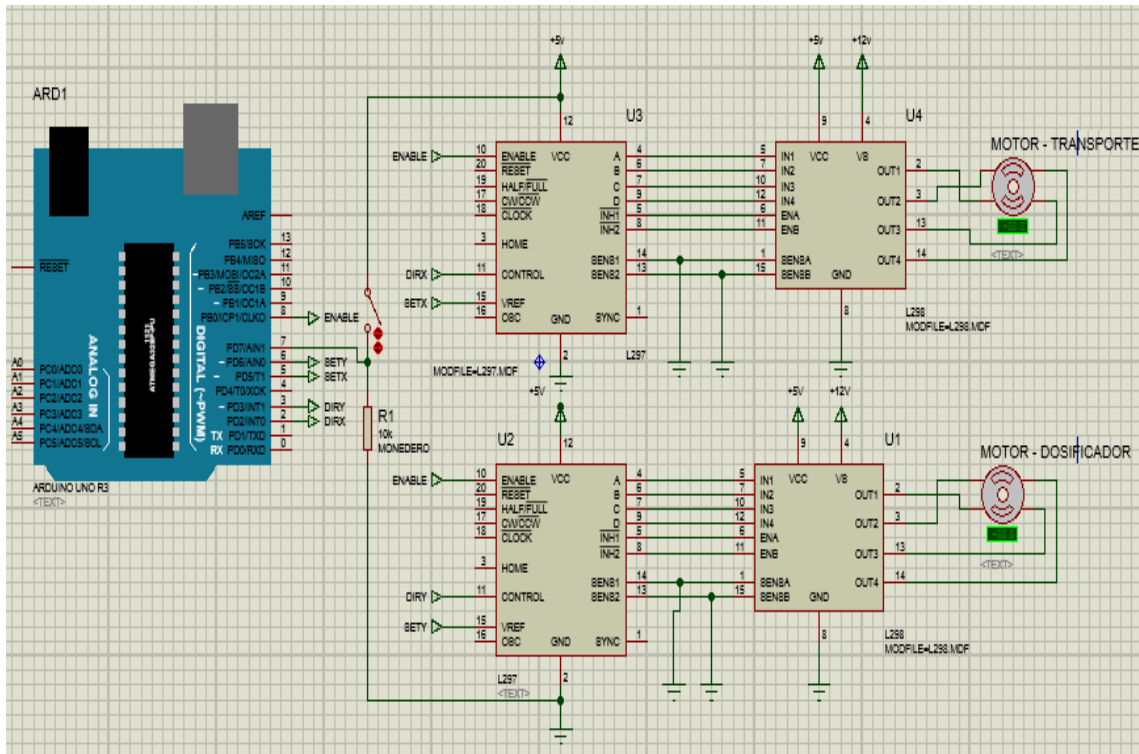


Figura 11-3: Diagrama de conexiones del hardware de la planta.

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

La tabla 10-3 brinda el detalle de las conexiones realizadas entre el Arduino y el Shield CNC v3.0 cabe mencionar que los pines del Shield se consideran acorde al driver que la constituye, el L297 y L298.

Tabla 10-3: Conexiones realizadas entre el Arduino y la Shield CNC v3.0

TERMINALES ARDUINO UNO	TERMINALES SHIELD CNC V3 (L297)	TERMINALES MONEDERO
2	(11) DIRX	
5	(15) SETX	
3	(11) DIRY	
6	(15) SETY	
7		Contacto normalmente Abierto
8	(10) ENABLE	

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Como complemento a las conexiones visibles en el diagrama de conexiones eléctricas del prototipo se señala en la Tabla 11-3 las conexiones de la Shield CNC con los motores de paso.

Tabla 11-3: Conexiones de la Shield CNC v3.0 y los motores de paso.

TERMINALES SHIELD CNC V3 (L297)	TERMINALES MOTOR TRANSPORTE	TERMINALES MOTOR DOSIFICADOR
2 A1x	A1	
3 A2x	A2	
13 B1x	B1	
14 B2x	B2	
2 A1y		A1
3 A2y		A2
13 B1y		B1
14 B2y		B2

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.4 Software

La etapa denominada *software* contempla la descripción de los algoritmos de visión artificial, control y el desarrollo de la interfaz gráfica que se presenta a continuación:

Algoritmo de Visión Artificial

Se lo desarrolló sobre la plataforma de LabVIEW 2020 por las prestaciones que ofrece para el procesamiento de imágenes. Se instalaron desde el NI Package Manager los complementos (LabVIEW, 2020):

Vision Development Module (Módulo de desarrollo de visión): Proporciona funciones para desarrollar e implementar aplicaciones de visión artificial.

Vision Acquisition Software (Software de adquisición de visión): Es un *software* controlador para adquirir, mostrar y guardar imágenes de una amplia variedad de tipos de cámaras artificial.

LabVIEW ofrece dos escenarios de desarrollo el panel frontal en el que se realiza el montaje del entorno para la interfaz gráfica humano – máquina y el panel de bloques de programación en el que dispone de varias librerías para el procesamiento de imágenes como por ejemplo segmentación y filtrado de las mismas, entre otros.

Para la codificación del algoritmo de visión artificial inicialmente se agregó en el panel de programación de LabVIEW los recursos Vision Acquisition y Vision Assistant fundamentales

para determinar el funcionamiento del algoritmo. La figura 26-3 representa las acciones iniciales para la codificación del algoritmo de visión en LabVIEW.

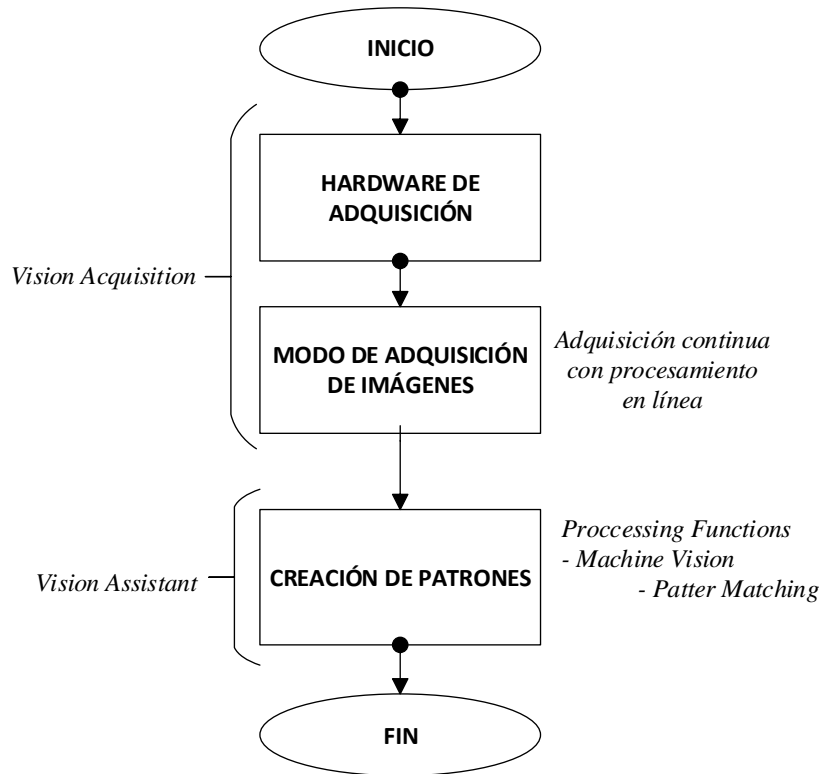


Figura 12-3: Acciones iniciales para la codificación del algoritmo de visión en LabVIEW

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Hardware y software: Las acciones para el desarrollo del algoritmo de visión artificial parten de la configuración del bloque de Vision Acquisition en el que se determina el *hardware* que se va a emplear para la adquisición de información y ajustando parámetros como: brillo, contraste, exposición, saturación, ganancia, balance de blancos, entre otros para mejora de la imagen. Para el caso de estudio resultó necesario que la cámara se posicione estratégicamente por lo que se optó por la cámara externa Philips SPZ2500.

Modo de Adquisición de imágenes: Una vez asignado el *hardware*, se procedió a especificar una adquisición continua de imágenes con procesamiento en línea, acorde a la necesidad de una evaluación en tiempo real, es decir imagen adquirida imagen procesada y esto ejecutado de manera cíclica hasta recibir una instrucción de cancelación.

Creación de patrones: Posteriormente en el bloque Vision Assistant se establece el modo de operación a emplearse para desarrollo del algoritmo de visión, para el caso de estudio se optó por la identificación o búsqueda de patrones (Visión Artificial / Processing Functions: Machine Vision / Patter Matching).

La figura 27-3 representa el diagrama de flujo de acciones para la definición de patrones.










Figura 13-3: Diagrama de flujo de acciones para la definición de patrones

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Determinación de patrones: Considerando los requerimientos de la aplicación se determinan los patrones que se emplearán para el control de la planta prototipo, habiendo establecido el uso de gestos de la mano. La tabla 12-3 muestra los gestos definidos para el control de la planta prototipo.

Tabla 12-3: Gestos definidos para el control de la planta prototipo- Acciones

GESTO	DESCRIPCIÓN DEL GESTO	ACCIÓN
	GESTO OK	DOSIFICACIÓN UN SOLO LÍQUIDO ESTACIÓN 1
	GESTO DE CACHO	DOSIFICACIÓN UN SOLO LÍQUIDO ESTACIÓN 2
	GESTO DE PUÑO	DOSIFICACIÓN UN SOLO LÍQUIDO ESTACIÓN 3
	GESTO DE CACHO ALARGADO	MEZCLA DOS LÍQUIDOS ESTACIÓN 1 - ESTACIÓN 2
	GESTO DE LIKE	MEZCLA DOS LÍQUIDOS ESTACIÓN 1 - ESTACIÓN 3
	GESTO INDICADOR 3 ELEMENTOS	MEZCLA DOS LÍQUIDOS ESTACIÓN 2 - ESTACIÓN 3
	GESTO DE DISLIKE	MEZCLA TRES LÍQUIDOS ESTACIÓN 1 - ESTACIÓN 2 - ESTACIÓN 3

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

El número de gestos necesarios para la acción de control fue planteado en base a las posibles relaciones que pueden darse para la dosificación y mezcla en la planta, se consideró denominar al espacio asignado para cada líquido como una estación, siendo así que por medio de una tabla de verdad se fijan los posibles casos de funcionalidad de la planta prototipo.

La Tabla 13-3 representa las 7 formas de funcionamiento de la planta haciendo referencia a las estaciones como variables, la codificación de colores en la tabla representa:

- Celdas de color amarillo representan acciones en las que se dispensará líquido en una solo estación específica.
- Celdas de color azul dispensarán en dos estaciones generando la mezcla de dos líquidos.
- Celda de color verde describe la dosificación en las tres estaciones generando una mezcla de tres líquidos.

- Celda de color rojo indica que todo está apagado.

Tabla 13-3: Formas de funcionamiento de la planta

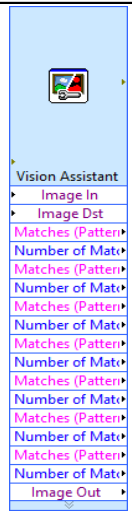
	ACCIONES							
Estación 1	0	1	0	1	0	1	0	1
Estación 2	0	0	1	1	0	0	1	1
Estación 3	0	0	0	0	1	1	1	1

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

La tabla 13-3 representa los gestos definidos para el control de la planta prototipo, cada uno de ellos relacionado con una acción específica en la planta, acciones a considerarse posteriormente para la programación del algoritmo de control.

Asignación de plantillas o patrones: Una vez determinados los gestos definidos como patrones se proceden a su **asignación** en el bloque Vision Assistant. La tabla 14-3 presenta los patrones declarados en el asistente de visión, donde se asigna el nombre del gesto correspondiente.

Tabla 14-3: Patrones declarados en el asistente de visión

VISION ASSISTANT		
	Nº Patrón (Pattern Matching)	NOMBRE DEL PATRÓN
	Pattern Matching 1	Gesto ok
	Pattern Matching 2	Gesto de cacho
	Pattern Matching 3	Gesto de puño
	Pattern Matching 4	Gesto de cacho alargado
	Pattern Matching 5	Gesto de like
	Pattern Matching 6	Gesto indicador 3 elementos
	Pattern Matching 7	Gesto de dislike

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Definición de tolerancia: La configuración de coincidencia de patrones parte de la asignación de un Template o plantilla y se define un rango de **tolerancia** para la detección del patrón, esto hace referencia a que el gesto será identificado en un rango de rotación de 90 y -90 grados no siempre el gesto se lo ejecutará al 100% de la posición del patrón. La figura 28-3 muestra la interfaz para seteo de la tolerancia.

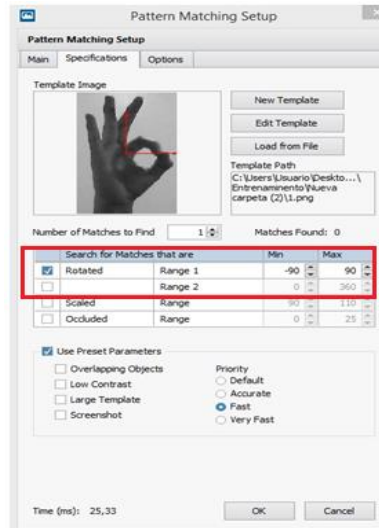


Figura 14-3: Interfaz para seteo de la tolerancia.

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Asignación del área de interés: Consiste en la edición de plantillas, en donde se asigna el patrón (el conjunto de siete gestos declarados). Se toma como ejemplo en la figura 29-3 el gesto patrón definido como “OK”, donde se procede a la captura global del gesto ejecutando el Vision Acquisition y posteriormente se selecciona de forma automática o manual el **área de interés**, se puede observar que el gesto está rodeado de una capa de color rojo, dicha capa representa las partes que se eliminan de la imagen capturada, estableciendo que el resto será el área de interés que defina el patrón de comparación para el algoritmo de visión.

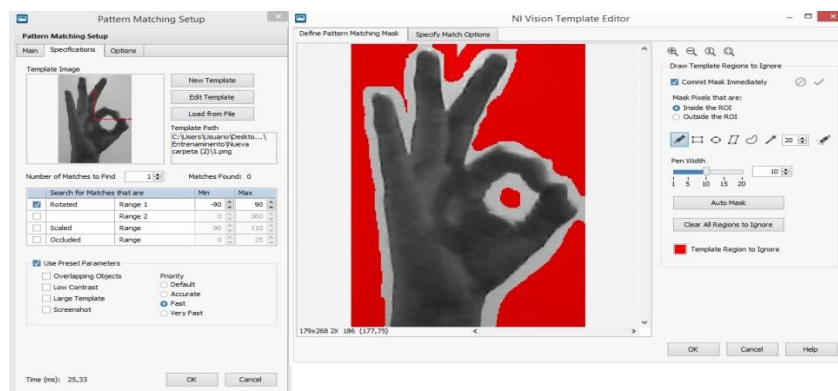


Figura 15-3: Gesto patrón definido como “OK”

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Finalmente para la configuración de los patrones se establece el modo de operar las imágenes adquiridas respecto a las plantillas, en este caso se seleccionó Correlation Value Pyramide / Correlación de imágenes que consiste en comparar las imágenes inicial y final de un

ensayo para obtener el campo de deformaciones, para poder ejecutar la comparación se distribuyen en la superficie del template o patrón una serie de puntos o puntos de encuentro, se determinó que sean 700 (LabVIEW, 2020).

Una vez configurados los bloques Vision Acquisition y Vision Assistant se procede a la generación del algoritmo de visión descrito en el diagrama de flujo de la figura 30-3.

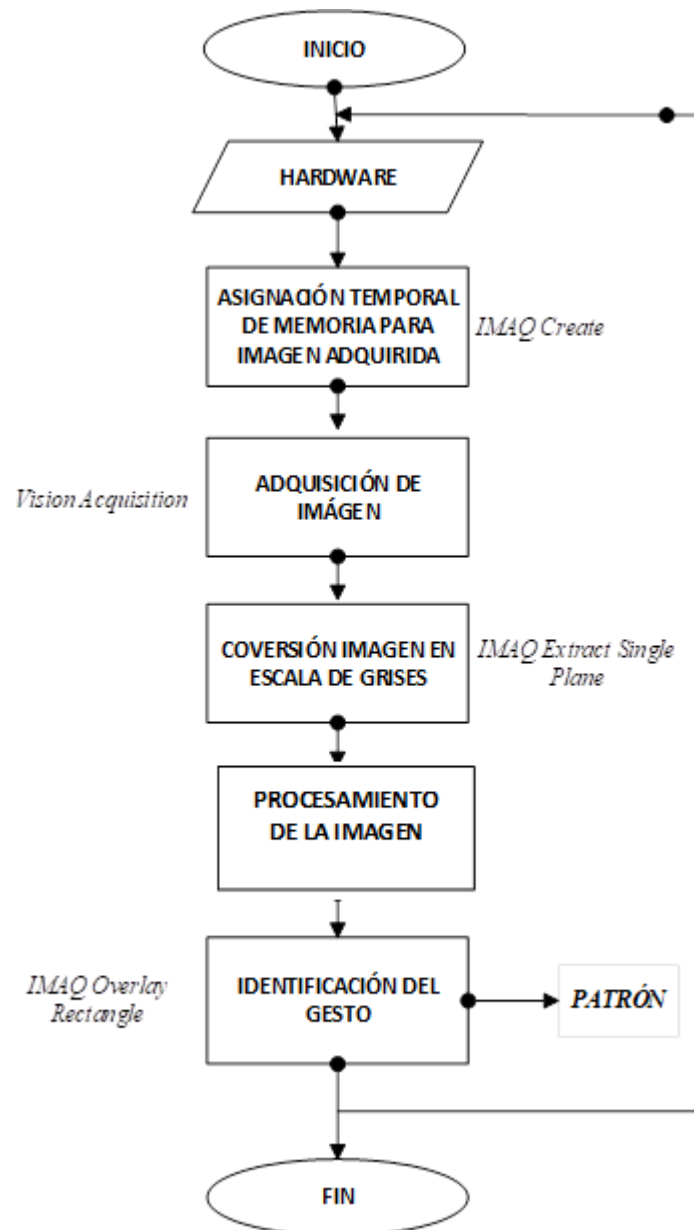


Figura 16-3: Diagrama de flujo del algoritmo de visión

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Asignación temporal de memoria: El algoritmo parte de la generación de un espacio de memoria temporal para las imágenes adquiridas, asignación de un equivalente de memoria cache, dentro

de la programación de LabVIEW esta acción se la logra con el uso del bloque IMAQ Create (LabVIEW, 2020).

Adquisición de imagen: Una vez establecido el espacio de memoria se ejecuta la adquisición de las imágenes a través del bloque configurado Vision Acquisition.

Conversión imagen en escala de grises: Este bloque describe el proceso de extracción del plano de colores para obtener el plano Luminance que consiste en obtener la imagen en blanco y negro de 8 bits (LabVIEW, 2020).

La figura 30-3 muestra un extracto del programa para la adquisición y adecuación de la imagen, el programa completo se encuentra ubicado en el Anexo F.

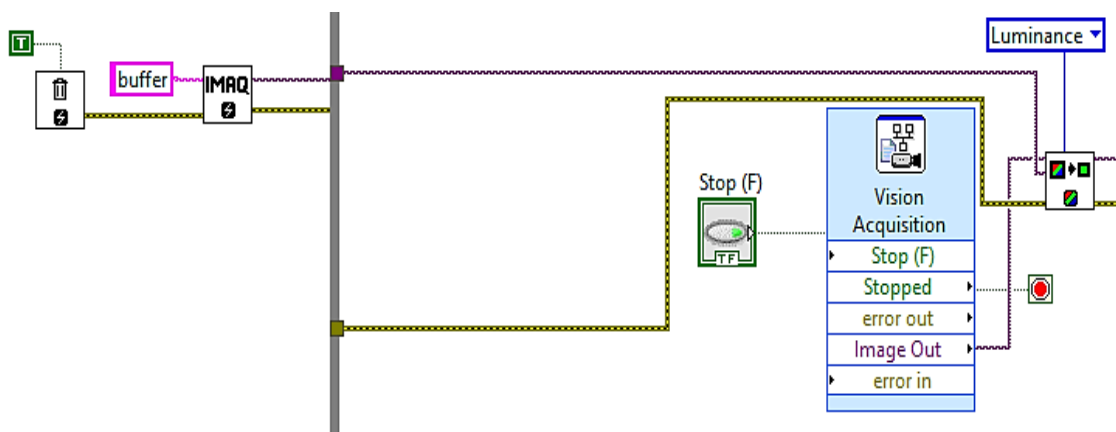


Figura 17-3: Extracto del programa para la adquisición y adecuación de la imagen.

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Procesamiento de la imagen: La imagen adecuada es direccionada hacia el bloque configurado Vision Assistant que proporciona el soporte para desarrollar la evaluación de las imágenes, discriminarlas y analizarlas, constituye la parte fundamental del programa.

En este bloque se ejecutan las acciones para:

- Extracción de los resultados del procesamiento de las imágenes del bloque Vision Assistant.
- Recuperación de información específica sobre la ubicación del patrón en el espacio que cubre la cámara.
- Exportación de la ubicación del patrón en forma de arreglo bidimensional (matriz).
- Extracción de las coordenadas rectangulares para posicionar el patrón detectado.

Identificación del gesto: Para la visualización del patrón o gesto detectado se emplea un marcador de zona de interés ejecutado en tiempo real.

La figura 32-3 representa un extracto del programa empleado para el tratamiento de la información del asistente de visión (LabVIEW, 2020).

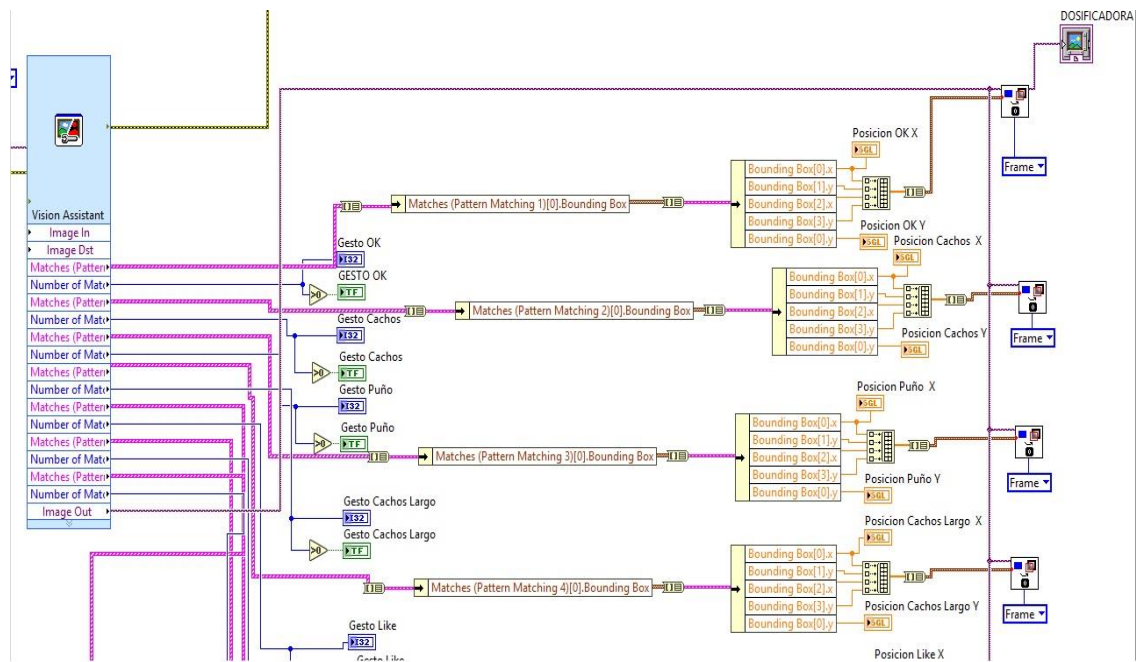


Figura 18-3: Extracto del programa para el tratamiento de la información del asistente de visión

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Una vez que se completó el ciclo del algoritmo de visión se lo relaciona con instrucciones de control expuestas a continuación para asociarlo con la planta prototipo.

3.4.1 Generación de señales de control

Gracias a las prestaciones de LabVIEW se vinculó el algoritmo de visión artificial con instrucciones de control para el manejo de la planta.

La figura 33-3 representa el diagrama de flujo para la generación de señales de control, en el que se fundamenta el modo de programación y configuración de instrucciones dentro del programa de la aplicación informática.

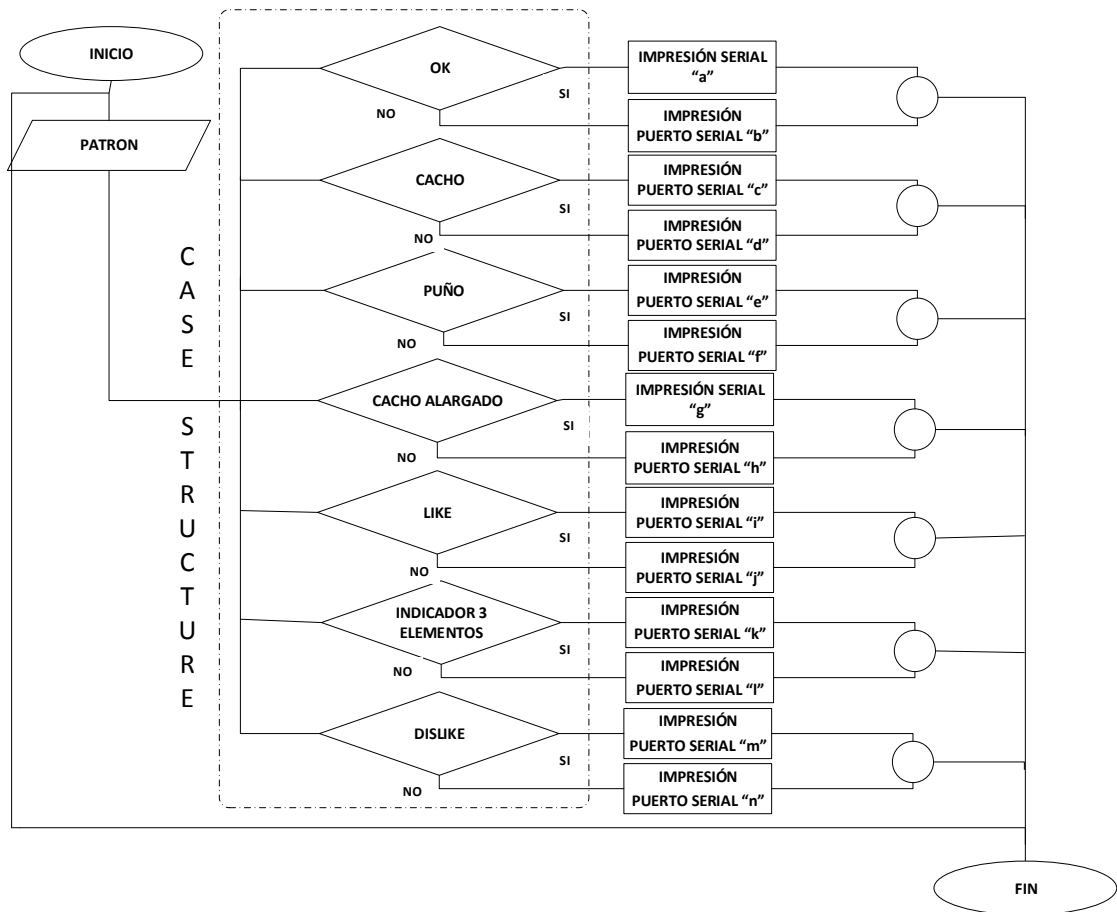


Figura 19-3: Diagrama de flujo para la generación de señales de control

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Patrón: Como resultado de la aplicación del algoritmo de visión artificial se obtiene la identificación de un patrón, el mismo que es tomado como variable de ingreso para el desarrollo del flujo de instrucciones en la etapa de generación de señales de control.

Case Structure: Se entiende por Case Structure una estructura de selección para el caso específico expresado en el diagrama de flujo de la figura 33-3 donde:

- Se toma como señal de ingreso a la estructura Case la variable patrón.
- Se evalúa la variable patrón para todos los casos posibles que presenta la estructura Case.
- Cada opción por afirmativo y negativo del Case ejecuta una acción de impresión al puerto serial.

La tabla 15-3 presenta la codificación empleada para relacionar los gestos con el carácter enviado al puerto serial.

Tabla 15-3: Codificación de estado de los gestos.

DESCRIPCIÓN DEL GESTO	GESTO RECONOCIDO	GESTO NO RECONOCIDO
GESTO OK	a	b
GESTO DE CACHO	c	d
GESTO DE PUÑO	e	f
GESTO DE CACHO ALARGADO	g	h
GESTO DE LIKE	i	j
GESTO INDICADOR 3 ELEMENTOS	k	l
GESTO DE DISLIKE	m	n

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

La secuencia descrita se ejecuta en forma continua cíclicamente, con la finalidad de actualizar la variable patrón. En la figura 34-3 se representa la evaluación del gesto OK y escritura en el serial.

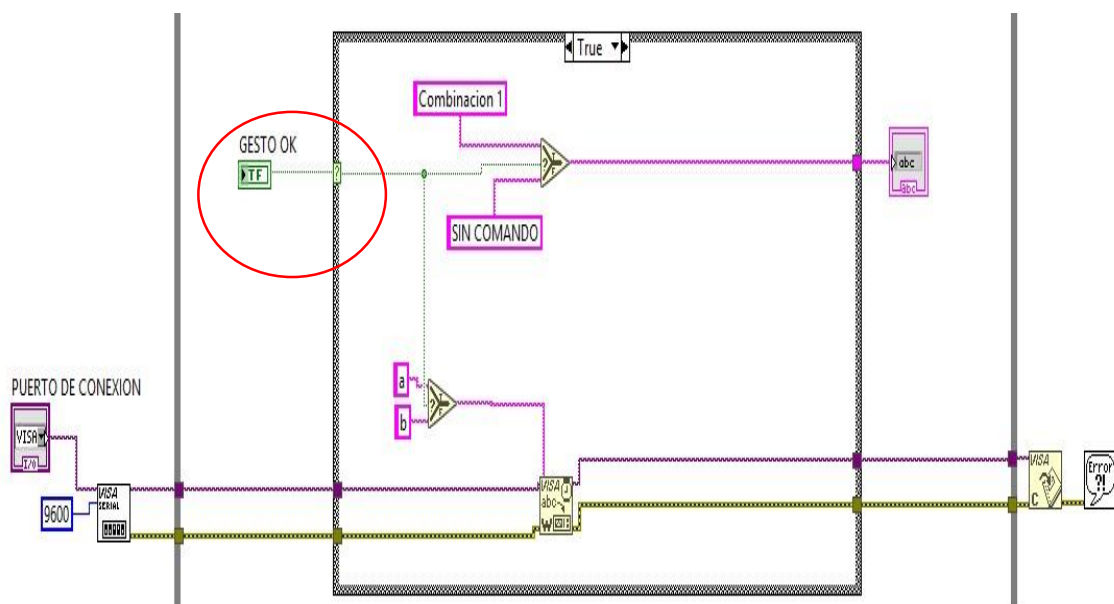


Figura 20-3: Evaluación del gesto OK y escritura en el serial

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

El bloque de programación expuesto será replicable para el resto de gestos, donde en cada uno tendrá el mensaje adecuado para el monitoreo de acciones en la interfaz gráfica y se establecerán los caracteres específicos para la escritura en el puerto serial.

No existe ninguna consideración u orden para la asignación de la codificación, el programa tiene la flexibilidad de usarse con cualquier carácter y en caso de usar números se deberá emplear la conversión de número a String mediante código.

De esta manera se gestiona las señales de control a través del puerto serial con la codificación establecida hacia el microcontrolador para su decodificación y ejecución de acciones sobre la planta modelo.

3.4.2 Algoritmo de control del Microcontrolador

Se empleó como elemento de enlace entre la planta y la aplicación un microcontrolador albergado sobre la plataforma Arduino UNO R3, la misma que entre sus características permite realizar comunicación serial, recurso empleado para gestionar el tráfico de información.

Para establecer la comunicación del Arduino se instaló del Package Manager los recursos de la librería VISA, la misma que entre sus herramientas permite la configuración del puerto serial, y establecer instrucciones de lectura y escritura. (LabVIEW, 2020)

La programación del sistema de control partió de la configuración del puerto Serial que representa el enlace de la aplicación informática con los elementos físicos. En la librería de VISA se añade al programa el bloque VISA Configure Serial Port en el que se asigna un recurso para ingreso del puerto COM al que se conecte el Arduino y se establece la velocidad de comunicación, 9600 baudios en este caso (LabVIEW, 2020).

El flujo de información generado por la aplicación informática a través del algoritmo de control es direccionado al puerto COM Serial donde está conectado el microcontrolador sobre la plataforma Arduino, el mismo que deberá por medio un conjunto de instrucciones decodificar la información e interactuar con el medio físico que en este caso representan los actuadores eléctricos de la planta prototipo.

El Anexo D contiene toda la programación del microcontrolador realizada en el IDE de Arduino versión 1.8.13, la misma que se representa en forma de diagrama de flujo del algoritmo del microcontrolador en la figura 35-3.

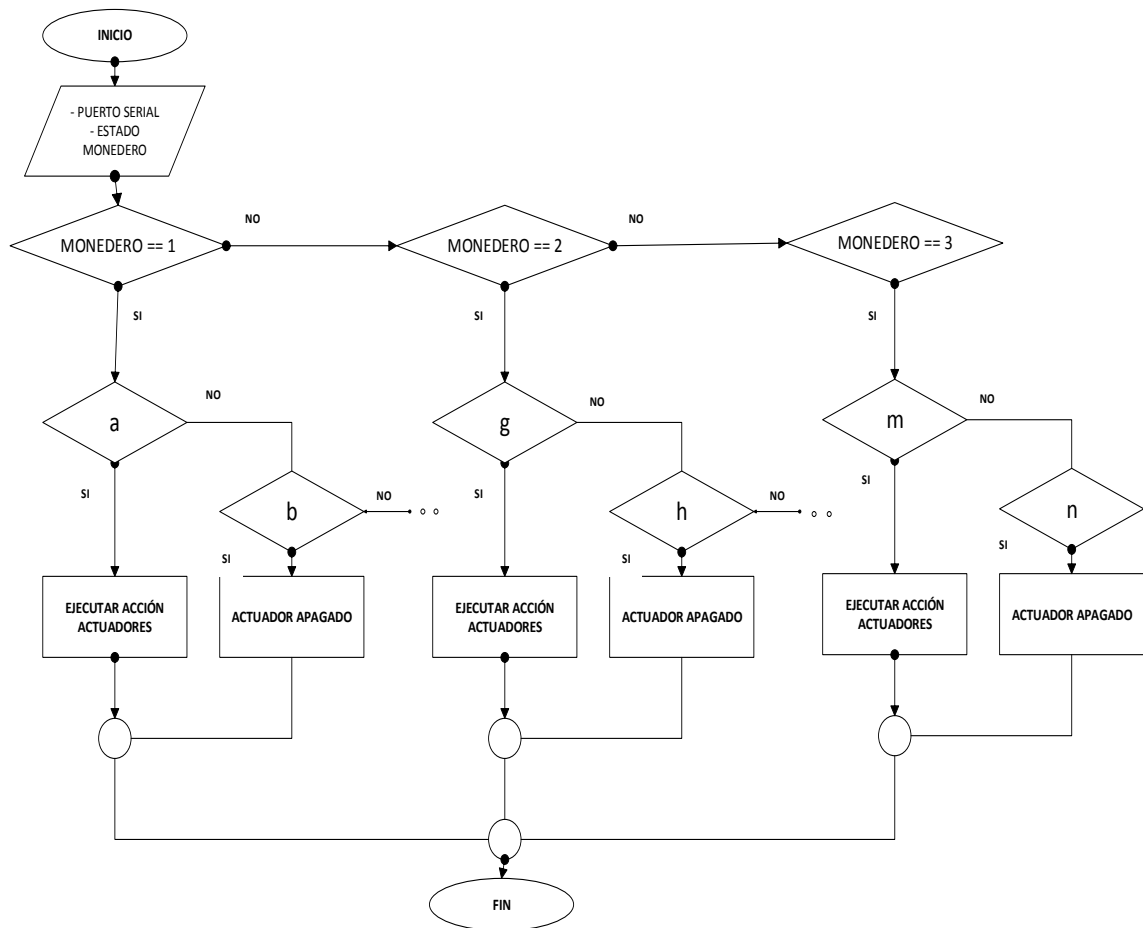


Figura 21-3: Diagrama de flujo del algoritmo del microcontrolador

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Bloque de lectura: En este punto se realiza la adquisición de información de:

- **Puerto serial:** Donde se va a tener las señales de control generadas por el programa ejecutado en LabVIEW.
- **Estado del monedero:** Representa una variable digital para la generación de un parámetro de control para la planta prototipo. El momento en el que el monedero detecte una moneda emitirá un pulso en alto e incrementará un contador, el mismo que representará el número de créditos condicionada a no poder ser mayor de tres.

Posteriormente a la lectura de la información de interés se evalúa mediante estructuras condicionales el valor asignado a la variable monedero.

Como se puede observar en la figura 35-3 la variable monedera puede adquirir valores de 1 2 y 3, cada opción habilita un flujo de instrucciones donde:

- Se evalúa la información del serial que corresponde a las señales de control generadas y codificadas desde el programa ejecutado en LabVIEW.
- A cada opción de señal de control identificada se asocia un flujo de instrucciones para el manejo de los actuadores eléctricos. Las mencionadas instrucciones se relacionan con la asignación de parámetros de funcionamiento propios de los actuadores tales como el sentido de giro, número de pasos y velocidad de rotación, la codificación de estas variables dentro del programa del microcontrolador se encuentran en el ANEXO D.

El algoritmo de control del microcontrolador relaciona su funcionamiento con el número de créditos, en la Tabla 16- 3 se muestran las acciones del proceso según el número de créditos, donde el color amarillo señala acciones habilitadas para un crédito, el color azul acciones que habilitan dos créditos y la verde acción de tres créditos.

Tabla 16-3: Acciones del proceso según el número de créditos

Número de Créditos	0	1	1	2	1	2	2	3
Estación 1	0	1	0	1	0	1	0	1
Estación 2	0	0	1	1	0	0	1	1
Estación 3	0	0	0	0	1	1	1	1

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

La inserción del monedero al sistema permite discriminar la función de los gestos planteados para el control, es decir se debe cumplir el número de créditos como se planteó en la tabla 16-3 para ser una señal útil para el control de la planta prototipo.

Se obtuvo un sistema de control electrónico condensado, donde la colocación del monedero quedaría a consideración del usuario según el entorno de aplicación.

3.4.3 Desarrollo de la interfaz gráfica de la aplicación informática

En el panel frontal de LabVIEW se conjugan recursos gráficos con el fin de generar una interfaz gráfica amigable con el usuario que permite en primera instancia visualizar la evaluación del algoritmo de visión, así como conocer el modo de funcionamiento de la planta controlada. La figura 36-3 señala el diseño de la interfaz gráfica desarrollada en el entorno de LabVIEW.



Figura 22-3: Diseño de la interfaz gráfica desarrollada en el entorno de LabVIEW

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Se desarrolló una interfaz gráfica de alto nivel en la que el usuario, dispone de instrucciones ilustrativas para indicar el funcionamiento, en este caso al ser una licorera tomada como entorno de aplicación del sistema, en el diseño se consideró incluir en la interfaz la información sobre los posibles servicios, dosificación simple, mezcla doble o mezcla triple de los líquidos (wiski, ron, gaseosa) que puede ofrecer la máquina.

Se obtuvo una interfaz flexible a cambios desde el entorno de diseño de LabVIEW lo que permitirá que el sistema pueda ser personalizado de acuerdo al entorno en el que se lo desee instalar.

Se puede observar en la figura 37-3 la interfaz gráfica resultante en ejecución en el ordenador, divisando como recurso principal la sección para la visualización del video en tiempo real del que se va tomando las imágenes para su procesamiento en el algoritmo de visión, se maneja también información sobre el número de créditos y las acciones que se pueden ejecutar de acuerdo a su valor.

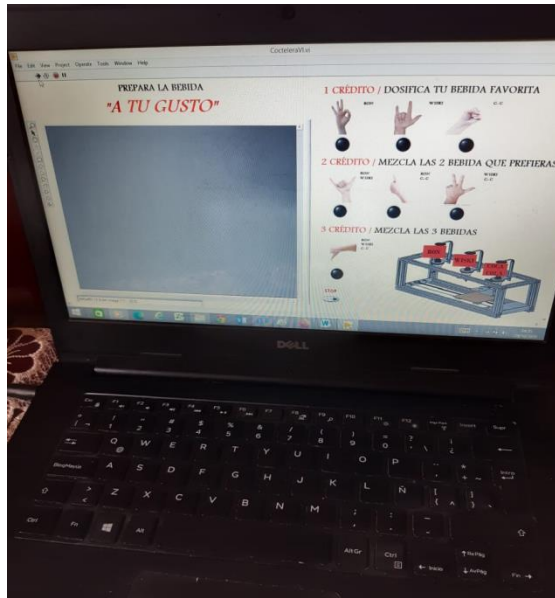


Figura 23-3: Interfaz gráfica resultante en ejecución

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.4.4 Diseño de la planta prototipo

A continuación se detallan los aspectos considerados dentro del diseño de la planta prototipo para lo cual se empleó la herramienta de diseño asistido por computador SolidWorks 2018, por sus prestaciones al momento de generar diseños en tres dimensiones y realizar análisis estructurales.

Se procedió con la generación del diseño y registro de las piezas que conforman la planta prototipo en planos, donde por medio de láminas se generaron las vistas de las piezas con sus respectivas acotaciones, describiendo las medidas reales de cada elemento, con el fin de facilitar el proceso de implementación dotando de toda la información necesaria para al momento de construir cada pieza hacerlo con total seguridad sin esperar algún tipo de fallo. Las láminas de todas las piezas que conforman la planta se las pone a disposición en el ANEXO A.

3.4.4.1 Estructura base de la planta prototipo

Considerando que la planta prototipo requiere de una estructura para el soporte de sus elementos se parte de su diseño, en la figura 38-3 se puede observar las vistas del diseño de la base estructural del proceso en dos dimensiones.

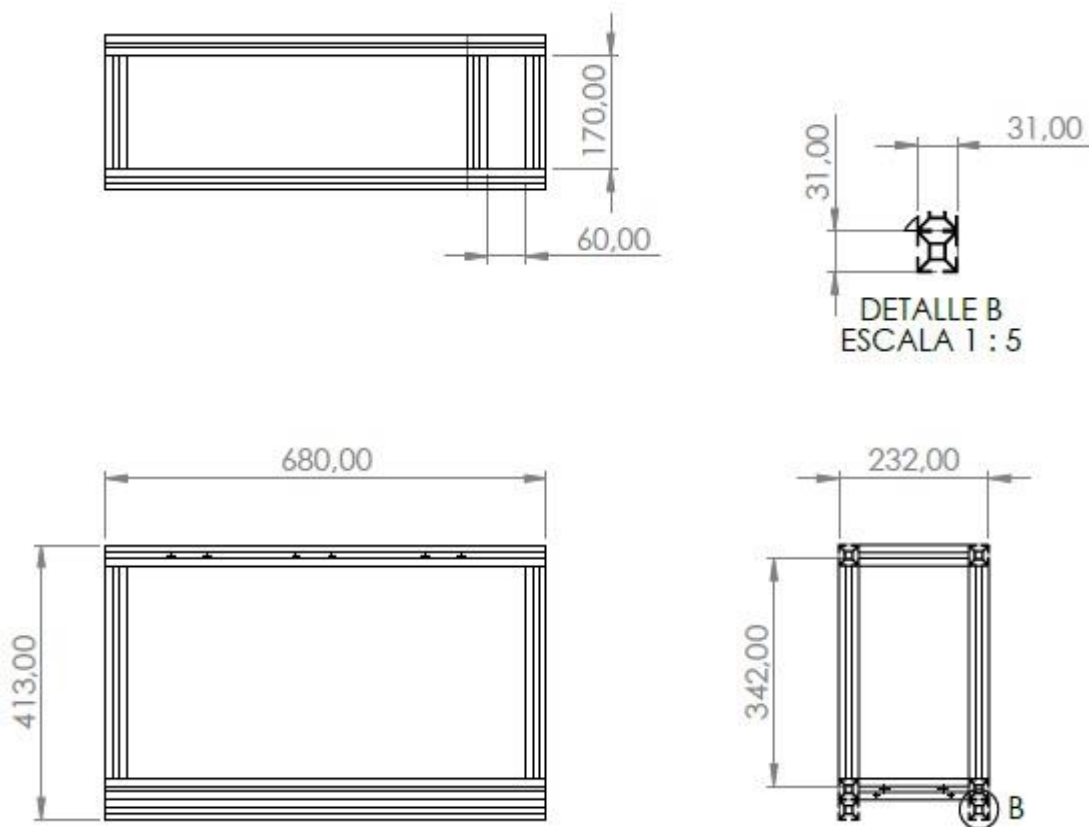


Figura 24-3: Vistas del diseño de la base estructural del proceso dos dimensiones

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Para la construcción de la estructura de la planta prototipo se planteó en el diseño el uso del perfil de aluminio de construcción de 25 x 25 mm. Al tratarse de una aplicación de capacidad de carga baja y diseño sencillo la elección de este perfil resulta correcta en el análisis estático.

3.4.4.2 Sistema de dosificación

Establecidos en el literal 3.3.8 el equipo a emplearse para la dosificación de los líquidos en la planta prototipo en esta sección con la finalidad de dotar de independencia al proceso de dosificación se consideró en el diseño añadir un accionamiento electromecánico para la compresión del dosificador, al mismo que se lo ubicó sobre el sistema de transporte, posteriormente se detalla de mejor manera esta adecuación.

El tipo de sistema de accionamiento para los dosificadores se basa en un tornillo sin fin que acoplado a un motor transmite el movimiento rotacional para convertirlo en desplazamiento lineal vertical en este caso, se consideró un motor eléctrico NEMA 17 acoplado a un tornillo sin fin y su respectivo par de guías.

La figura 39-3 describe el sistema mecánico para conmutación de los dosificadores, se observa la acción a ejecutarse por parte del sistema de control mecánico para la conmutación de los dosificadores, las marcas verdes montadas sobre la figura describen la forma de movimiento que se desarrollará para cumplir con la expectativa planteada.

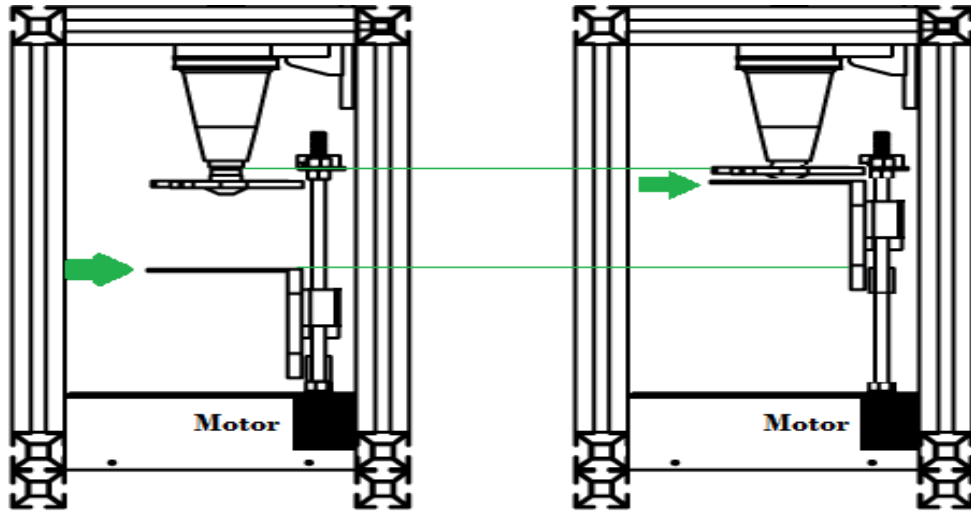


Figura 25-3: Sistema mecánico para conmutación de los dosificadores

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Al sujetar los dosificadores a la estructura y verificar el funcionamiento del sistema de conmutación de los mismos se observó que se efectuaría un esfuerzo considerable para accionarlos en la sección marcada con verde en la figura 40-3 (a), lo que podía generar su ruptura al ser que son elementos de material plástico, como solución se incluyó al diseño la pieza refuerzo para el dosificador mostrada en la figura 40-3 (b) determinando su construcción en material de hierro. La validación de la acción de esta pieza se la realizó con el *software* SolidWorks 2018 aplicando una de sus bondades como es el análisis estático (ANEXO B) con el fin simular y poder determinar que no existan deformaciones ni peligros de ruptura durante su aplicación.

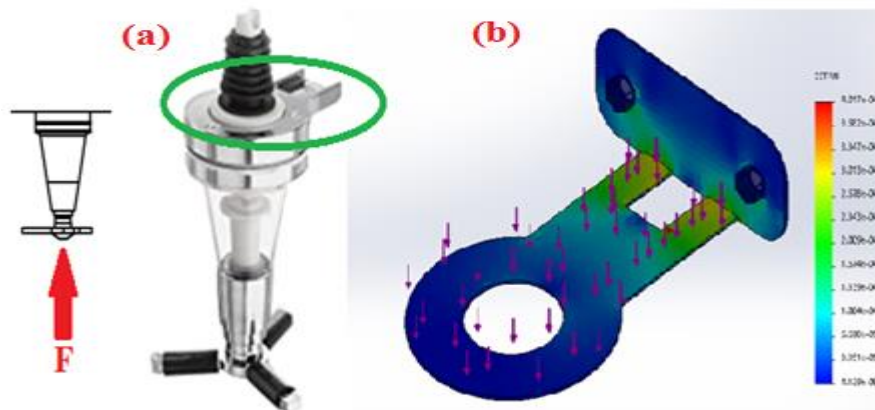


Figura 26-3: Refuerzo para evitar ruptura del dosificador plástico

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Son tres los dosificadores utilizados en el prototipo y todos fueron reforzados para su conservación.

3.4.4.3 Sujetador de recipientes para la materia prima

A más del dosificador se anexa un sistema de sujeción para los recipientes de botellas como se puede observar en a figura 41-3, los mismos que se ensamblan en conjunto con los dosificadores. El sujetador empleado puede albergar botellas de 0.7 hasta 1 litro en diferentes presentaciones debido a que es ajustable.

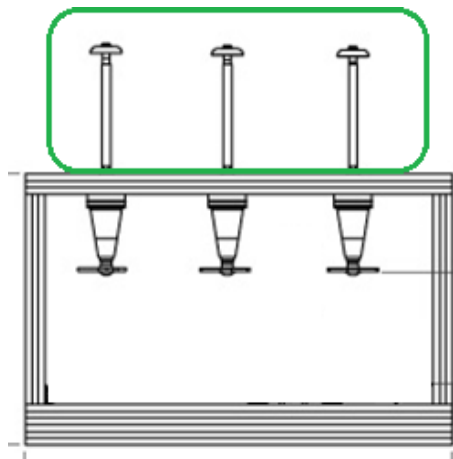


Figura 27-3: Sistemas de sujeción para los recipientes de botellas

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.4.4.4 Sistema del transporte

Se considera al conjunto electromecánico empleado para desplazar linealmente el vaso o recipiente en el que se experimentan los procesos de dosificación y mezcla de líquidos.

El tipo de sistema de transporte empleado se basa en un tornillo sin fin que acoplado a un motor NEMA 17 que transmite el movimiento rotacional para convertirlo en desplazamiento lineal horizontal del carro. Este sistema se complementa con un par de barras guías que pasan por chumaceras colocadas en los costados del carro y en los extremos de la planta. La figura 42-3 muestra las partes del sistema de transporte consideradas en el diseño.

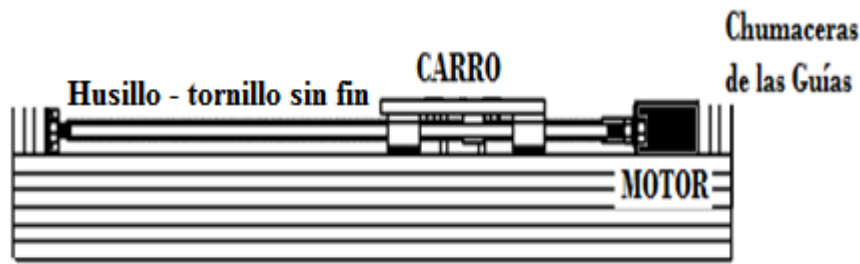



Figura 28-3: Sistema de transporte considerando el diseño
Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Al obtener una proyección gráfica de las etapas de la planta prototipo, el punto más importante es la validación del diseño por medio de un análisis estático, el que determina el estado de una pieza diseñada según las características del material y requerimientos cuando está sujeta a fuerzas conocidas, identificando las deformaciones ocurridas en el elemento a la vez el esfuerzo que realiza el material con respecto a las fuerzas aplicadas. Este tipo de análisis permite realizarlo SolidWorks 2018 basado en el criterio de máximas tensiones de Von Mises y sirve para verificar el tipo de material que se está ocupando o a su vez cambiar el material o el diseño, de esta manera se evita el proceso de prueba y error que tradicionalmente se tenía que realizar en el taller o en peores condiciones en la máquina ensamblada perdiendo tiempo y dinero.

A continuación, se detalla el esfuerzo realizado en el tornillo sin fin que está propuesto como elemento que gobernará el sistema de transporte.

La tabla 17-3 describe las propiedades del material empleado para el diseño del tornillo sin fin, en este caso es un acero AISI 1020.

Tabla 17-3: Propiedades del material del tornillo sin fin

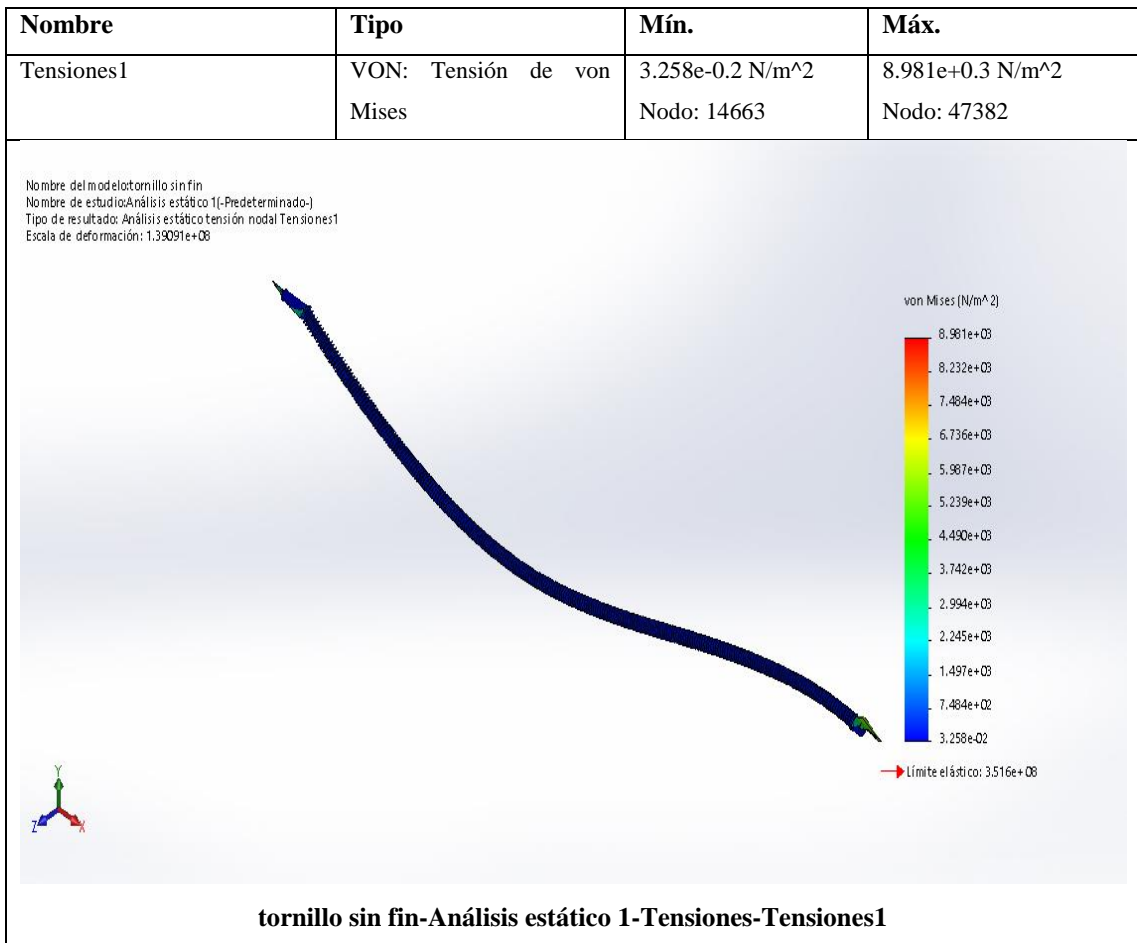
REFERENCIA DE MODELO	PROPIEDADES	COMPONENTES
	<p>Nombre: AISI 1020</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 3.51571e+0.8 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4.20507e+0.8 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 7900 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.7e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.5e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1 (Cortar-Barrer1) (tornillo sin fin)</p>

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Para el análisis estático en el tornillo se toma como referencia la aplicación de 15N de fuerza valor que se lo considera como promedio del peso del sistema de transporte y el recipiente que contenga el o los líquidos dosificados.

De los datos obtenidos de la tabla 18-3 se puede manifestar que al analizar el tornillo sin fin con una fuerza de 15 N se obtiene que la tensión a la que pudiera estar sometida varía entre los 0.03 258 Pa en sus extremos hasta los 8 981 Pa en su parte media, llegando a concluir que la reacción del tornillo es óptima para el peso máximo al que pudiera estar sometido, ya que la tensión no se acerca al límite elástico que es de 351.6 MPa (valor obtenido de la tabla 17-3).

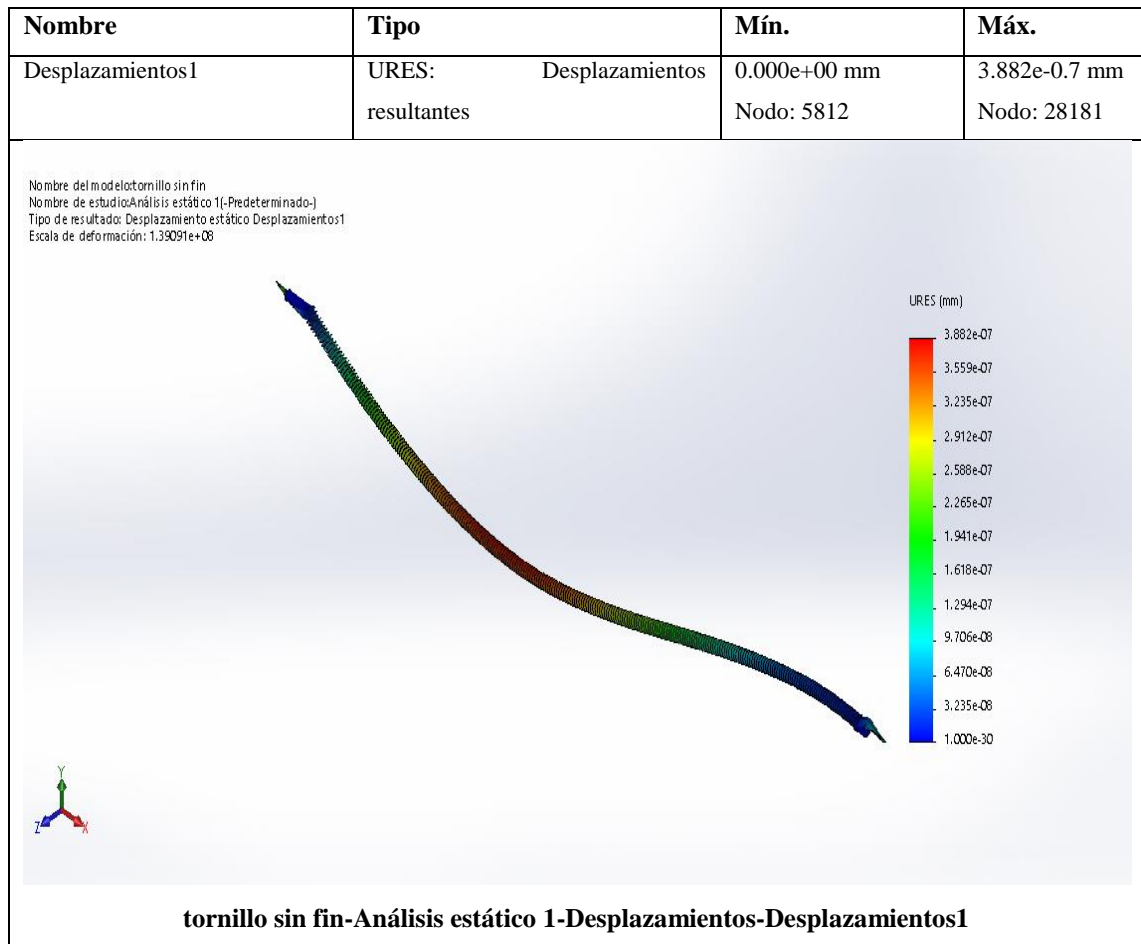
Tabla 18-3: Resultado del estudio de tensiones



Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Según lo expuesto en la tabla 19-3 con respecto al estudio de desplazamiento que puede tener el material al estar sometido a la fuerza de 15 N, se tiene que su límite máximo será de 0. 0 000 003 882 mm, considerándose prácticamente indeformable y a su vez con estos resultados se puede tomar al material AISI 1020 como el idóneo para la fabricación del tonillo sin fin.

Tabla 19-3: Resultado del estudio de desplazamientos

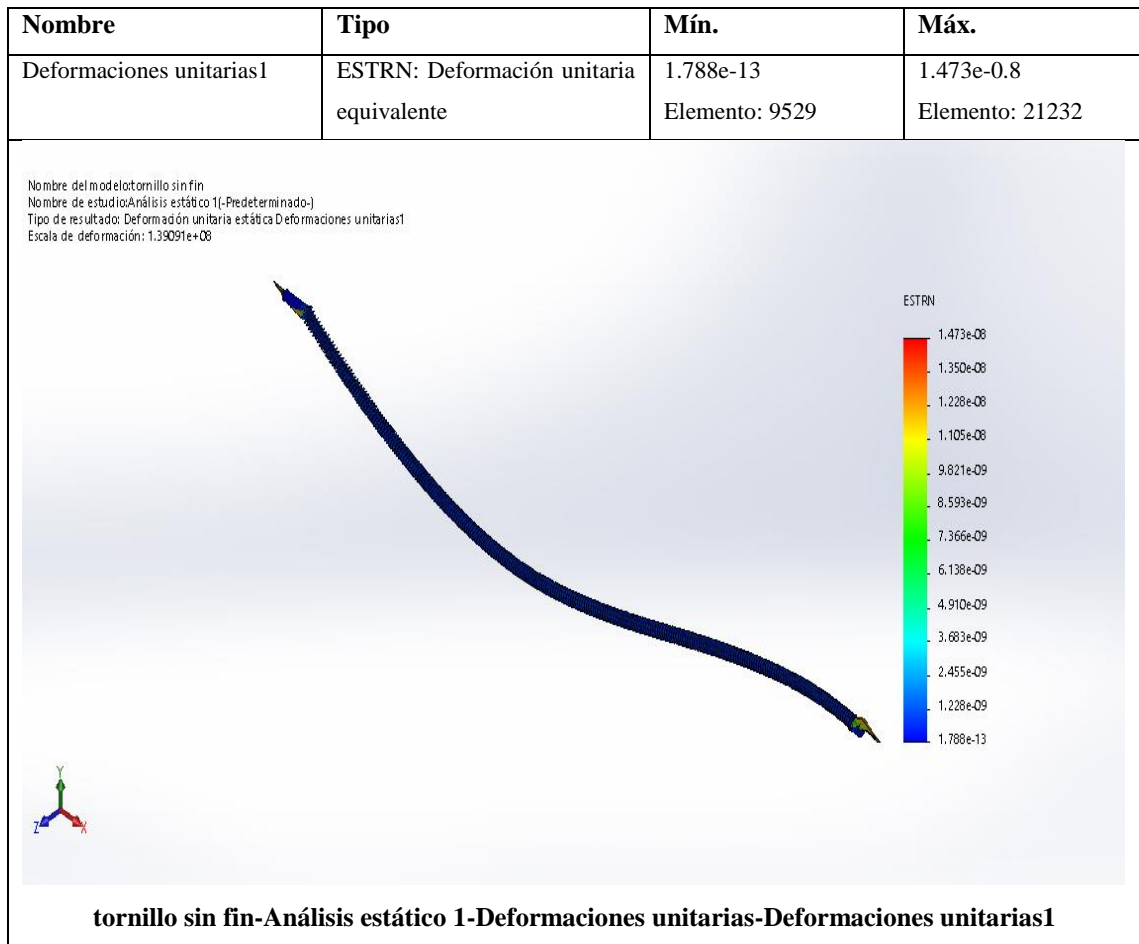


Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Para concluir con el análisis estático del tornillo sin fin se determinó como se muestra en la tabla 20-3 el desplazamiento que podría experimentar el eje, algo que puede presentarse en los dos extremos del mismo, sin embargo, los límites de alargamiento al ser cantidades muy pequeñas (1.778×10^{-13} mm y 1.473×10^{-8} mm) se puede asegurar que el eje no será deformado.

Con los resultados obtenidos del análisis estático se puede determinar que el diseño del tornillo sin fin será fiable al momento de fabricarlo en acero AISI 1020.

Tabla 20-3: Resultado del estudio de deformaciones unitarias



Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

El análisis estático del resto de piezas de la planta expuesta a esfuerzos se lo incluye en el ANEXO B. De esta forma se valida el diseño elaborado en la plataforma de SolidWorks lo que permitirá que su construcción sea la adecuada.

Elaboradas y registradas todas las piezas se procede a realizar el ensamble simulado con el fin de obtener un elemento compacto integrado, como es el diseño global de la planta prototipo de dosificación y mezclado de líquidos.

3.4.4.5 Planos de la planta

La figura 43-3 muestra la planta ensamblada en dos dimensiones en su forma de plano acotado en diferentes vistas en dos dimensiones, este tipo de plano crea una perspectiva de cómo se verá la planta implementada.

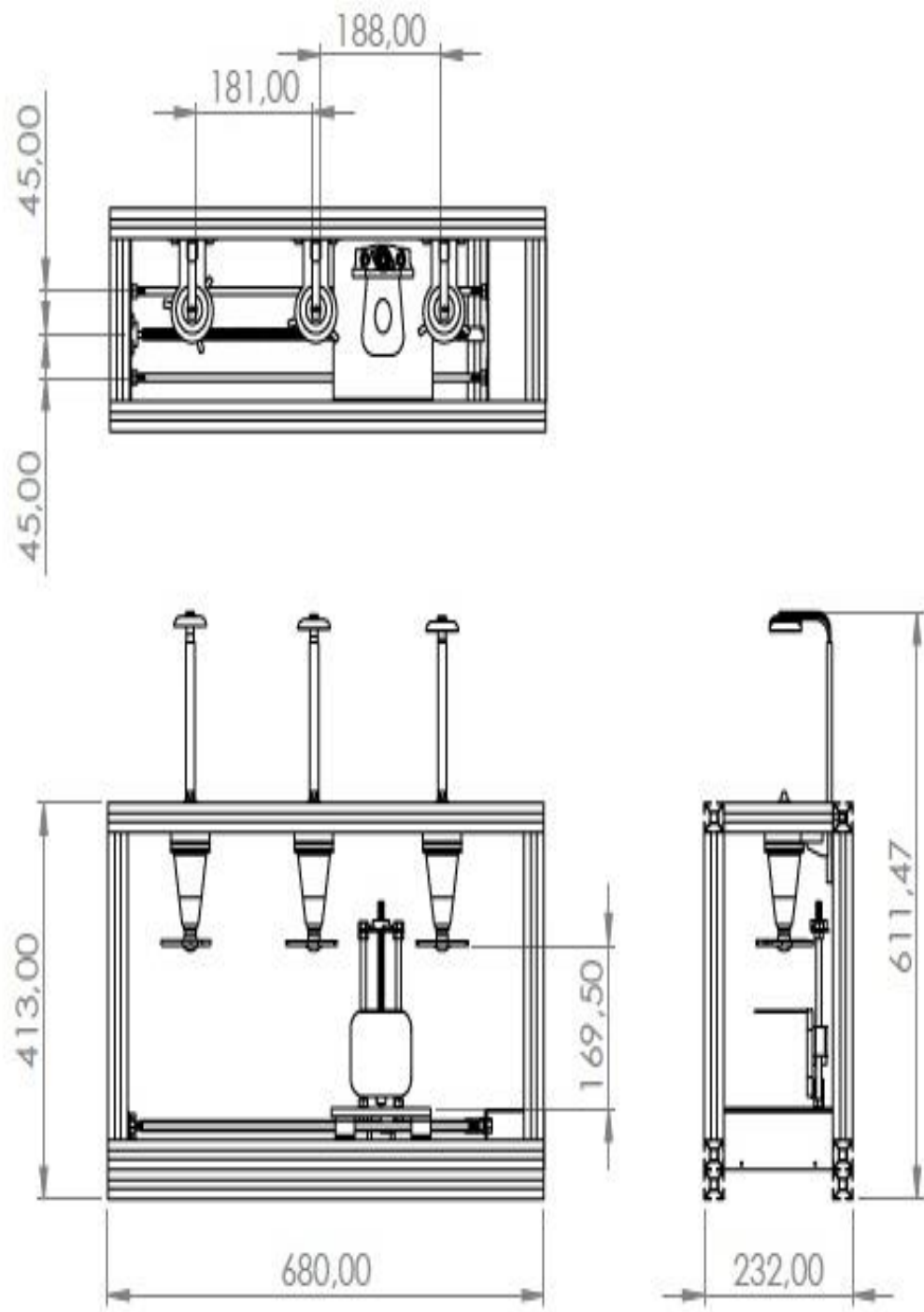


Figura 29-3: Planta ensamblada en dos dimensiones en su forma de plano acotado

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020.

Se obtuvo también empleando SolidWorks 2018 un ensamble simulado 3D de la planta permite tener una idea clara del modelo, identificando partes y funciones de las mismas dentro de la planta. La figura 44-3 muestra el modelo 3D de la planta prototipo y señala las partes principales que la conforman.

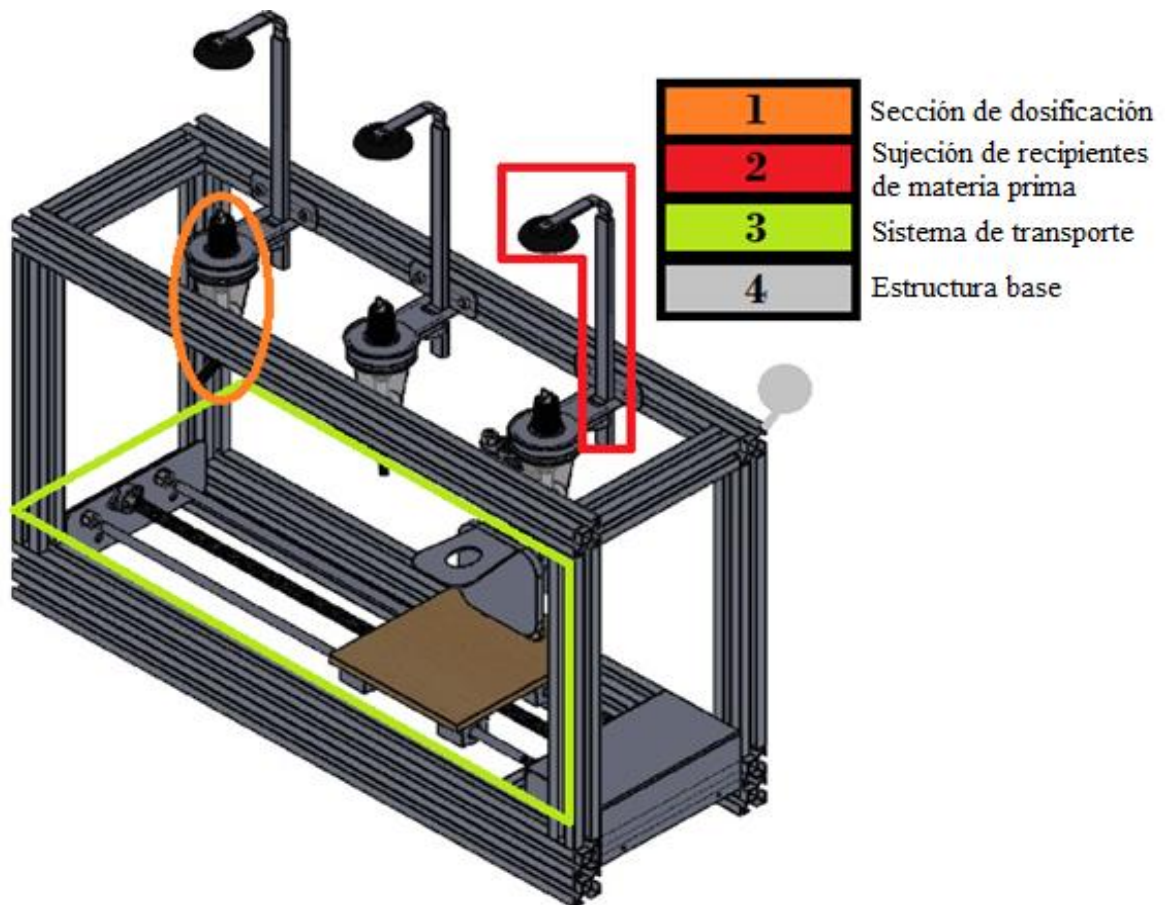


Figura 30-3: Modelo 3D de la planta prototipo y señala las partes principales que la conforman

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

En el Anexo E se presenta las láminas condensadas con la nominación de cada una de las piezas desarrolladas para la elaboración del diseño resultante de la planta prototipo.

3.5 Implementación de la planta prototipo

Fundamentados en los parámetros establecidos en el diseño de las diferentes secciones declaradas para generar la planta prototipo se procede a su implementación.

3.5.1 Implementación de módulos de la planta prototipo

Para la construcción de la planta prototipo se siguió el esquema trazado en el diseño, se partió por la adecuación de la sección de dosificación, como se puede observar en la figura 45-3 para salvaguardar la integridad del dosificador de material plástico se colocó el refuerzo en material metálico, apropiado para facilitar puntos de anclaje para pernos que permitan su sujeción en la

estructura. Al dosificador se le redujo la dimensión del resorte interno para facilitar la interacción con el sistema de activación.



Figura 31-3: Adecuación de la sección de dosificación

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

La figura 46-3 muestra los dosificadores en conjunto con los sujetadores de botellas contenedores de la materia prima.



Figura 32-3: Dosificadores en conjunto con los sujetadores de botella

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Se implementó el sistema de transporte como se observa en la figura 47-3 empleando un husillo o tornillo sin fin para por medio de la transmisión de energía rotativa de un motor eléctrico generar el desplazamiento de un denominado carro.

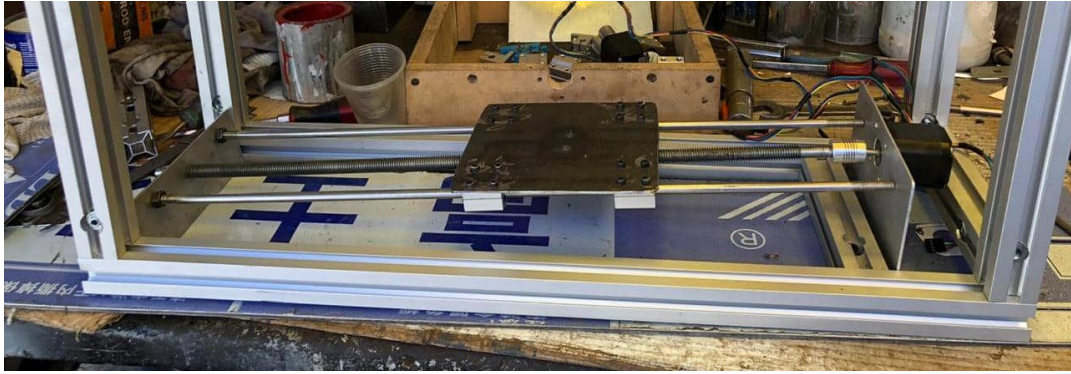


Figura 33-3: Implementación del sistema de transporte

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Sobre el sistema de transporte se encuentra complementario el sistema para activación de los dosificadores, que se lo incorporó como una carrera de desplazamiento vertical basada en un husillo con un carro dispuesto de una plancha acoplable al dosificador para efectuar presión y activarlo, en la figura 48-3 se puede apreciar la implementación del sistema de mecanismo de desplazamiento.



Figura 34-3: Implementación del sistema de mecanismo de desplazamiento

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.5.2 Planta de Dosificación y mezcla de líquidos

Se obtuvo una estructura sólida y compacta para albergar los recursos complementarios que relaciona la planta para dosificación y mezcla de líquidos, estableciendo una planta con tres estaciones para ejecución del proceso. La figura 49-3 muestra la planta prototipo de dosificación y mezcla completa implementada.

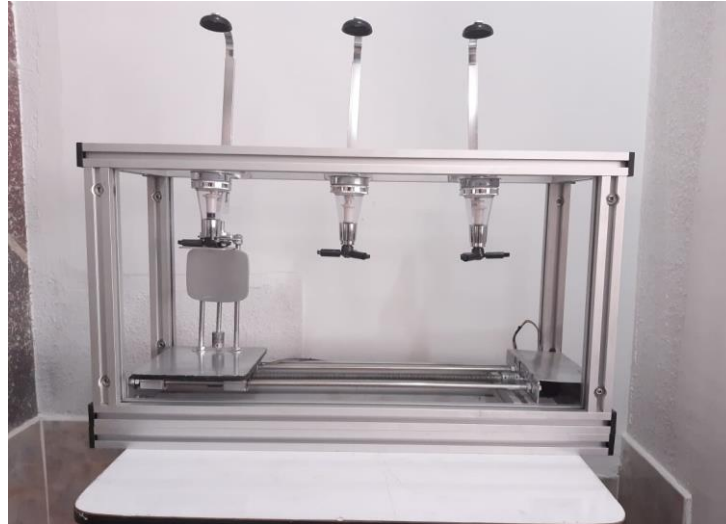


Figura 35-3: Planta prototipo de dosificación y mezcla completa implementada

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

El sistema de carro con desplazamiento vertical garantiza la activación del dosificador. La presión con la fuerza del torque que genera el actuador eléctrico sobre el husillo generará el desplazamiento vertical. La figura 50-3 muestra los estados del mecanismo de accionamiento del dosificador.

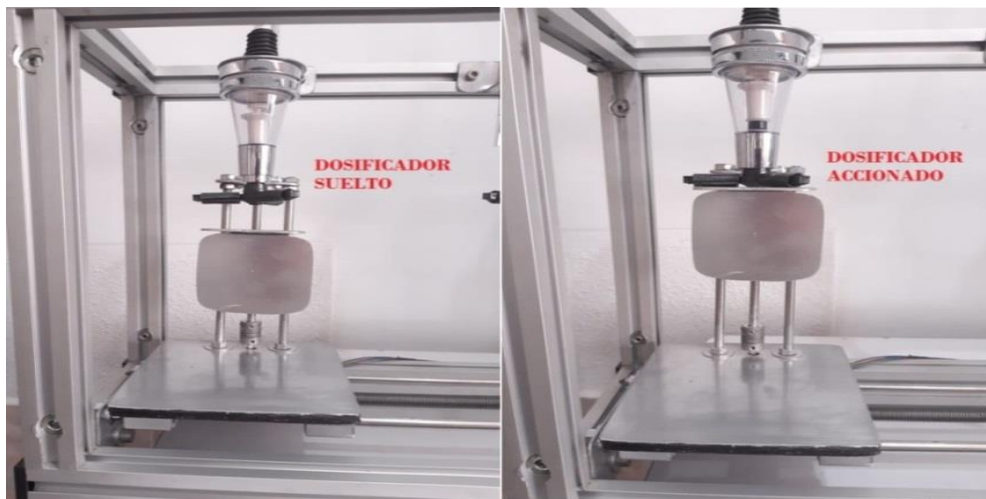


Figura 36-3: Estados del mecanismo del accionamiento del dosificador

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

El sistema de transporte implementado ofrece las garantías necesarias para la movilización del contenedor en el que se dosifica y mezclan los líquidos a lo largo de las tres estaciones según el caso de funcionamiento activado. La figura 51-3 representa el sistema de transporte con el conjunto de partes que lo conforman.

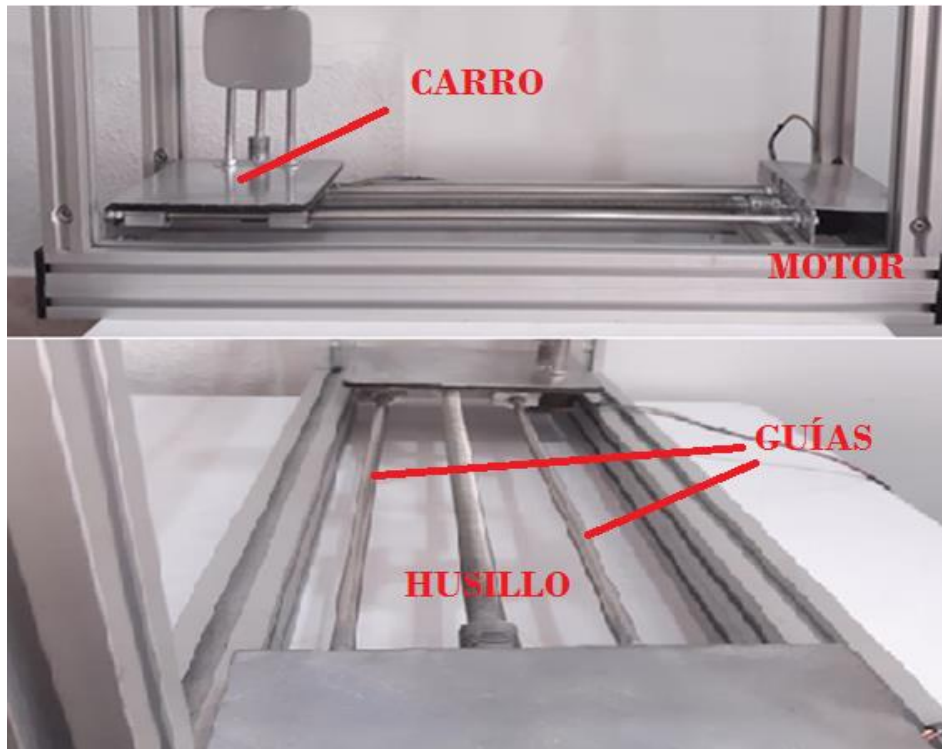


Figura 37-3: Sistema de transporte - partes

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.6 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Una vez implementado en la figura la 52-3 se puede apreciar la planta prototipo con sus componentes. Se observan los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas en la planta para garantizar el cumplimiento de los requerimientos planteados.

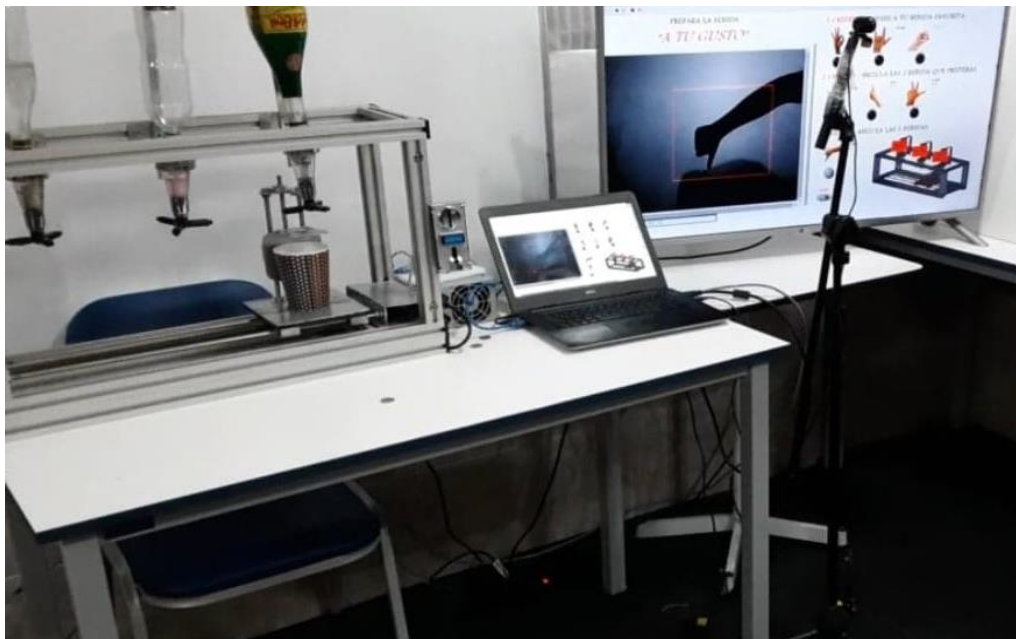


Figura 38-3: Prototipo implementado con sus componentes

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.6.1 Prueba de reconocimiento de gestos

Para la ejecución de las pruebas de validación del prototipo se consideró la selección de un sitio adecuado que proporcione las condiciones apropiadas de iluminación. Se tomó como entorno de contraste para el objeto a evaluar en este caso la mano de una persona, una pared de color blanca que conservó el nivel de luz del ambiente y no generó distorsión en la identificación de los gestos.

Las figuras 53-3, 54-3 y 55-3 evidencian como ejemplos la funcionalidad del algoritmo de visión al reconocer los gestos programados, en los tres casos el overlay confirma la identificación.

La figura 53-3 permite observar la identificación del gesto OK contenido en el overlay en la interfaz gráfica de la aplicación informática como respuesta a la ejecución del algoritmo de visión implementado. Además, a la identificación se activa un indicador como señal de visualización adicional que al usuario le permite confirmar que fue ese su gesto generado.



Figura 39-3: Identificación del gesto OK

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

En la figura 54-3 se visualiza la identificación del gesto CACHO ALARGADO.



Figura 40-3: Identificación del gesto CACHO ALARGADO

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

En la figura 55-3 se visualiza la identificación del gesto DISLIKE



Figura 41-3: Identificación del gesto DISLIKE

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

En esta prueba se ejecutaron 50 ensayos para el reconocimiento de cada gesto, verificando número de aciertos versus no aciertos en la identificación, adicionalmente se consideró el cronometrar el

tiempo que tarda en reconocer la aplicación a cada gesto. Los resultados de la eficiencia y tiempo promedios en el reconocimiento de gestos se muestran en la Tabla 21-3.

Tabla 21-3: Eficiencia y tiempo promedios en el reconocimiento de gestos

DESCRIPCIÓN	ACIERTOS	NO ACIERTOS	EFICIENCIA (%)	TIEMPO PROMEDIO RECONOCIMIENTO DEL GESTO (s)
GESTO OK	47	3	94	1.5
GESTO DE CACHO	49	1	98	1
GESTO DE PUÑO	48	2	96	1
GESTO DE CACHO ALARGADO	44	6	88	4
GESTO DE LIKE	46	4	92	2.2
GESTO INDICADOR 3 ELEMENTOS	45	5	90	2
GESTO DE DISLIKE	47	3	94	1
			93.14	1.81

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Los resultado de la evaluación individual del reconocimiento de los gestos en un ambiente controlado con iluminación ideal y constante mostrados en la tabla anterior, permiten que al sumar las eficiencias parciales obtenidas para cada gesto y dividir las para el número total de gestos, obtener un valor promedio de eficiencia del 93.14% que se considera es una valoración buena según la tabla 22-3 que representa la teoría de valoración de funcionalidad de los equipos presentada por (Cruelles JA, 2010) dentro de su teoría de la medición del despilfarro.

Tabla 22-3: Valoración de la Eficiencia total de los Equipos (OEE).

OEE	Valoración	Descripción
0% – 64%	Deficiente (Inaceptable).	Se producen importantes pérdidas económicas. Existe muy baja competitividad.
65% – 74%	Regular.	Es aceptable solo si se está en proceso de mejora. Se producen pérdidas económicas. Existe baja competitividad.
75% – 84%	Aceptable.	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% – 94%	Buena.	Entra en valores de Clase Mundial. Buena competitividad.
95% – 100%	Excelente.	Valores de Clase Mundial. Alta competitividad.

Fuente: (Cruelles, 2010)

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Además bajo la misma consideración de la eficiencia se trabajó para obtener el tiempo de respuesta promedio para el reconocimiento de gestos en la aplicación obteniendo un tiempo promedio de 1.81 segundos, que mediante observación específica en la tabla 21-3 se puede decir que el gesto más complicado para su reconocimiento es el de CACHO ALARGADO.

3.6.2 Pruebas para calibración de posicionamiento

Inicialmente para la calibración de posicionamiento del carro transportador se realizaron ensayos en vacío, determinando a prueba y error el número de pasos que debía ejecutar el motor NEMA 17 del husillo del sistema de transporte para situarse en cada estación para el proceso de dosificación.

La tabla 23-3 muestra el número de pasos ejecutados considerados en la programación del motor NEMA 17 del husillo del sistema de transporte para posicionarse en cada estación.

Tabla 23-3: Número de pasos programados para el motor del husillo de transporte

POSICIONAMIENTOS	NÚMERO DE PASOS
Inicio - Estación 1	40765
Inicio - Estación 2	19800
Inicio - Estación 3	0
Inicio – Estación 1 – Inicio	81530
Inicio – Estación 2 – Inicio	39600
Inicio – Estación 3 – Inicio	0
Estación 1 – Estación 2	20965
Estación 2 – Estación 3	19800

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Los pasos registrados en la tabla 23-3 son los ejecutados dentro de la programación para generar las secuencias de dosificación y mezcla en la planta prototipo, determinando para mayor apreciación el número de pasos en trayectorias solo de ida como por ejemplo Inicio – Estación 1, trayectorias de ida y retorno como Inicio – Estación 1 – Inicio y como trayectorias de salto entre estaciones como Estación 1 – Estación 2.

Igualmente, a prueba y error se determinaron 800 pasos para el recorrido del motor NEMA 17 del sistema de activación del dosificador, determinando un tiempo de 5 segundos para su ejecución, al ser que es una trayectoria de ida (activación) y retorno (desactivación) son un total de 1600 pasos que se ejecutarán en esta acción.

3.6.3 Pruebas al proceso de dosificación

Teóricamente se establece en la descripción del dosificador que al presionarlo su cámara de almacenamiento vacía una dosis de 35 ml como valor ideal, el uso de estos dosificadores se los ve en productos manuales para el dispensado de líquidos, así que al adaptar un sistema electromecánico para su activación se consideró realizar pruebas para verificar la cantidad exacta del líquido dosificado por el prototipo.

Se tomó como patrones de medida recipientes con medida en mili litros, aquellos empleados en el área de repostería, se realizó el proceso de dosificación en seis recipientes de ensayo y se compararon las cantidades de líquido que fueron dosificadas. La figura 56-3 muestra los ensayos para verificación de capacidad que dispensan los dosificadores.

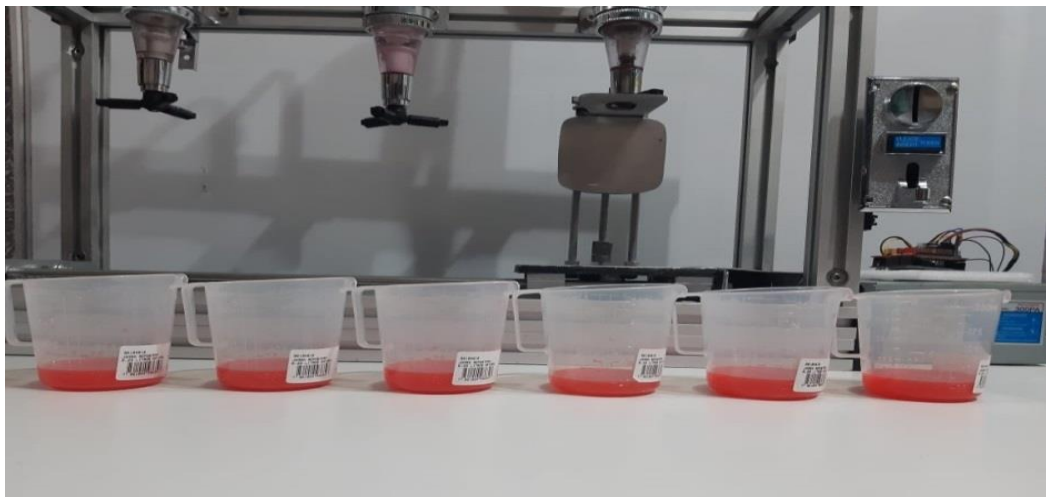


Figura 42-3: Ensayos para verificación de capacidad que dispensan los dosificadores

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

La prueba se extendió a las posibles secuencias de dosificación simple, doble y triple, realizando seis ensayos en cada caso, obtenido la tabla 24-3 que refleja la cantidad de líquido dosificada en los recipientes de ensayo. Se consideró como ideales los valores de 35 ml para una dosificación simple, 70 ml para una dosificación doble y 105 ml para una triple.

Tabla 24-3: Cantidad de líquido dosificada en los recipientes de ensayo

N	Dosificada (ml)	Pruebas dosificas (ml)	Error absoluto (ml)
Líquido A			
1	35	35	0
2	35	35	0
3	35	35	0
4	35	35	0
5	35	35	0
6	35	35	0
Líquido B			
1	35	35	0
2	35	35	0
3	35	35	0
4	35	35	0
5	35	35	0
6	35	35	0
Líquido C			
1	35	35	0
2	35	35	0
3	35	35	0
4	35	35	0
5	35	35	0
6	35	35	0
Líquido AB			
1	70	70	0
2	70	70	0
3	70	70	0
4	70	70	0
5	70	70	0
6	70	70	0
7	70	70	0
Líquido AC			
1	70	70	0
2	70	70	0
3	70	70	0
4	70	70	0
5	70	70	0
6	70	70	0
Líquido BC			
1	70	70	0
2	70	70	0

3	70	70	0
4	70	70	0
5	70	70	0
6	70	70	0
Líquido ABC			
1	105	105	0
2	105	105	0
3	105	105	0
4	105	105	0
5	105	105	0
6	105	105	0

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Por observación directa, no se apreciaron diferencias representativas en la cantidad de líquido entre los ensayos, determinando que no existe error y que la dosificación que ofrecen los dispositivos dosificadores es uniforme.

A nivel general en los resultados de cantidad de líquido medido en los ensayos se puede observar que la dosificación es homogénea, considerando que el error es despreciable.

Igualmente en esta prueba se cronometró el tiempo de todo el proceso de dosificación que contempla la activación / desactivación del dosificador (10 segundos establecidos en la programación) y el vaciado de su cámara (medido independientemente en promedio dió 4 segundos), se determinó como resultado un tiempo promedio de 14 segundos. La figura 57-3 representa el cronometrado del tiempo del proceso de dosificación.

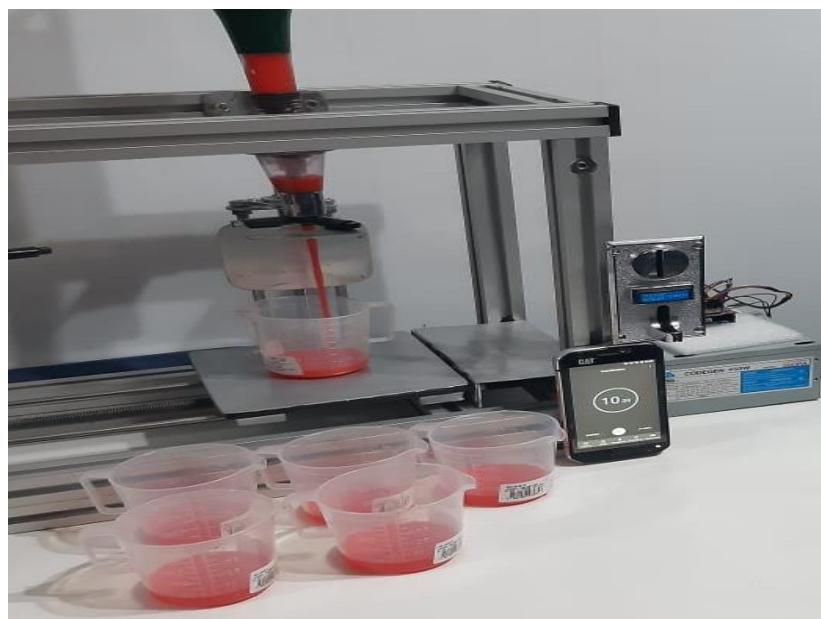


Figura 43-3: Cronometrado del tiempo del proceso de dosificación.

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

3.6.4 Pruebas de ejecución de procesos o rutinas

Las figuras 58-3, 59-3 y 60-3, se evidencian la planta prototipo resultante con la ejecución de procesos específicos de acuerdo al gesto que se ha asignado. Se consideró los primeros casos de funcionalidad de la planta prototipo para representar los resultados obtenidos.

La figura 58-3 representa el proceso de dosificación en la estación 1, resultado del proceso:

- Identificación del gesto OK en la aplicación informática mediante la ejecución del algoritmo de visión.
- Verificación de asignación de un crédito.
- Activación del motor de paso del husillo para el sistema transportador del contenedor hasta avanzar a la estación 1.
- Activación subida del motor de paso del activador del dosificador.
- Tiempo de espera para la dosificación de la cámara empleada de 35 ml del dosificador.
- Activación bajada del motor de paso del activador del dosificador.
- Activación del motor de paso del husillo para el sistema transportador del contenedor hasta retornar al punto de partida con el producto esperado.



Figura 44-3: Proceso de dosificación en la estación 1

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

La figura 59-3 representa el proceso de dosificación en la estación 2 resultado del proceso:

- Identificación del gesto CACHO en la aplicación informática mediante la ejecución del algoritmo de visión.
- Verificación de asignación de un crédito.
- Activación del motor de paso del husillo para el sistema transportador del contenedor hasta avanzar a la estación 2.
- Activación subida del motor de paso del activador del dosificador.
- Tiempo de espera para la dosificación de la cámara empleada de 35 ml del dosificador.
- Activación bajada del motor de paso del activador del dosificador.
- Activación del motor de paso del husillo para el sistema transportador del contenedor hasta retornar al punto de partida con el producto esperado.



Figura 45-3: Proceso de dosificación en la estación 2

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

En la figura 60-3 representa el proceso de dosificación en la estación 3 resultado del proceso:

- Identificación del gesto PUÑO en la aplicación informática mediante la ejecución del algoritmo de visión.

- Verificación de asignación de un crédito.
- Activación subida del motor de paso del activador del dosificador.
- Tiempo de espera para la dosificación de la cámara empleada de 35 ml del dosificador.
- Activación bajada del motor de paso del activador del dosificador y obtención del producto esperado.



Figura 46-3: Proceso de dosificación en la estación 3

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

En la tabla 25-3 se expone las secuencias de ejecución del prototipo según el número de créditos y el gesto reconocido.

Tabla 25-3: Secuencias de ejecución del prototipo según el número de créditos y gesto

GESTO	# CRÉDITO	LÍQUIDO A	LÍQUIDO B	LÍQUIDO C	SECUENCIA
GESTO OK	1	X			Estación 1 – Retorno
GESTO DE CACHO	1		X		Estación 2 – Retorno

GESTO DE PUÑO	1			X	Estación 3
GESTO DE CACHO ALARGADO	2	X	X		Estación 1- Estación 2 – Retorno
GESTO DE LIKE	2	X		X	Estación 1- Estación 2 – Retorno
GESTO INDICADOR 3 ELEMENTOS	2		X	X	Estación 2- Estación 3
GESTO DE DISLIKE	3	X	X	X	Estación 1- Estación 2 - Estación 3

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Del análisis de la tabla anterior se manifiesta que al vincular la respuesta del sistema de visión (identificación de un gesto) con la señal del monedero (procesada para la interpretación del número de créditos), se establecen las formas de funcionamiento de la planta, estableciendo como resultado cualitativo:

- La asignación de los gestos OK, CACHO y PUÑO como habilitadores del proceso de dosificación de un líquido en su respectiva estación.
- La asignación de los gestos CACHO ALARGADO, LIKE e INDICADOR DE TRES ELEMENTOS como habilitadores del proceso de dosificación de dos líquidos en sus respectivas estaciones para su mezcla.
- La asignación del gesto DISLIKE como habilitador del proceso de dosificación de los tres líquidos para su mezcla.

La tabla 26-3 contiene los tiempos de ejecución de la secuencia relacionada a cada gesto y número de créditos, considerando el tiempo que se toma el sistema de transporte hasta posicionarse en una estación específica y el tiempo empleado en el o los procesos de dosificación. Los resultados se obtuvieron de un proceso de **10 pruebas** cronometradas de cada secuencia con el fin de tener una apreciación de tiempo de ejecución de los pasos ya expresados.

Tabla 26-3: Tiempos de ejecución de la secuencia relacionada a cada gesto y créditos

GESTO	# CRÉDITO	TIEMPO PROMEDIO (/10) DE UBICACIÓN A LA ESTACIÓN (s)			TIEMPO DE DOSIFICADO (s)
GESTO OK	1	44 Ubicación Estación 1			14
GESTO DE CACHO	1		22 Ubicación Estación 2		14
GESTO DE PUÑO	1			0 Ubicación Estación 3	14
GESTO DE CACHO ALARGADO	2	44 Ubicación Estación 1	22 Ubicación Estación 2		28
GESTO DE LIKE	2	44 Ubicación Estación 1		44 Ubicación Estación 3	28
GESTO INDICADOR 3 ELEMENTOS	2		22 Ubicación Estación 2	22 Ubicación Estación 3	28
GESTO DE DISLIKE	3	44 Ubicación Estación 1	22 Ubicación Estación 2	22 Ubicación Estación 3	42

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

De la tabla anterior se manifiesta como resultado que el recorrido de una estación a otra toma un tiempo promedio de 22 segundos, y por cada proceso de dosificación los ya determinados 14 segundos. Bajo esta consideración se calculan los tiempos totales para la secuencia correspondiente para cada gesto.

La tabla 27-3 representa los tiempos obtenidos para los siete casos asociados a los gestos y procesos de dosificación simple, y mezclas dobles y triples, en esta tabla se relaciona tiempos totales para la finalización del proceso y entrega del producto final, así por ejemplo:

- El gesto OK de acuerdo a la tabla 26-3 toma 44 s para ubicarse en la estación; habiendo alcanzado esta posición activa la dosificación, proceso que consume 14 s, para la entrega del producto final debe regresar a su posición inicial lo que conlleva un consumo de 44 s más, obteniendo como tiempo global de este proceso específico de 102 s como se puede apreciar en la tabla de tiempos empleados para cada proceso completo de dosificación y mezcla.

- El gesto CACHO ALARGADO de acuerdo a la tabla 26-3 toma 44 s para ubicarse en la estación 1; alcanzado esta posición activa la dosificación, proceso que consume 14 s, posteriormente para ubicarse en la estación 2 de acuerdo a su secuencia establecida consume 22 s más, habiendo alcanzado esta nueva posición activa la dosificación 14 s y para la entrega del producto final debe regresar a la posición inicial lo que conlleva un consumo de 22 s más, obteniendo como tiempo global de este proceso específico de 116 s como se puede apreciar en la tabla 27-3.

Tabla 27-3: Tiempos empleados para cada proceso completo de dosificación y mezcla.

GESTO	DESCRIPCIÓN DE ACCIÓN DEL PROCESO	TIEMPO TOTAL DEL PROCESO (s)
GESTO OK	DOSIFICACIÓN LÍQUIDO A	102
GESTO DE CACHO	DOSIFICACIÓN LÍQUIDO B	58
GESTO DE PUÑO	DOSIFICACIÓN LÍQUIDO C	14
GESTO DE CACHO ALARGADO	DOSIFICACIÓN Y MEZCLA LÍQUIDO A, B	116
GESTO DE LIKE	DOSIFICACIÓN Y MEZCLA LÍQUIDO A, C	116
GESTO INDICADOR 3 ELEMENTOS	DOSIFICACIÓN Y MEZCLA LÍQUIDO B, C	72
GESTO DE DISLIKE	DOSIFICACIÓN Y MEZCLA LÍQUIDO A, B, C	130

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Los tiempos obtenidos en la tabla 27-3 son el resultado de un proceso de calibración del sistema electromecánico que relaciona los husillos y los motores, específicamente el tiempo de ejecución del número de pasos de los motores hasta llegar a su posición establecida. Al ser tiempos contados por el microcontrolador estos se convierten en constantes del sistema, sin embargo se verificaron los tiempos por cronómetro en cada ensayo realizado verificando el siempre cumplimiento de los mismos.

3.6.5 Pruebas de consumo del prototipo

En la tabla 28-3 se adjunta el consumo del prototipo en base al consumo de sus elementos a plena carga.

Tabla 28-3: Consumo del prototipo en base al consumo de sus elementos

Componentes	Voltaje (V)	Corrientes (A)	Potencia (W)	Consumo Total (Wh)
Computador	110	1.81	200	200
Cámara	5	0.15	0.75	0.75
Arduino UNO R3	5	0.046	0.23	0.23
Shield CNC	5	0.046	0.23	0.23
Motor NEMA 17	12	0.35	8.4	8.4
Total		2.752A	209.61W	209.61Wh

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Se realizó una comparación con productos existentes en el mercado que ofrecen una funcionalidad similar a la ejecutada en este trabajo, para eso se tomaron ciertos puntos específicos que se detallan en la tabla 29-3.

Tabla 29-3: Comparación con productos existentes

MODELO	ESTRUCTURA	CAPACIDAD DE BEBIDAS PARA DOSIFICAR	FORMA DE DOSIFICACIÓN	SISTEMA DE TRANSPORTE	INTERFAZ GRÁFICA	VISIÓN ARTIFICIAL
TRABAJO ACTUAL	Aluminio	3	Accionamiento electromecánico válvulas	Carro transportador del contenedor	HMI LabVIEW	Si
BARBOT-THE AUTOMATIC BARTENDER	Estructura mixta hierro y madera.	6	Bomba	Fijo	LCD	No
BARTENDRO	Hierro y aleación plástica	De acuerdo al número de válvulas que se desee integrar	Bomba	Fijo	LCD	No
THE INEBRIATOR		9	Accionamiento electromecánico válvulas	Carro transportador del contenedor	LCD	No
DIGITAL BEVERAGES MYFOUNTAIN	Acero inoxidable	Variedad de combinaciones	Electroválvulas	Fijo	Pantalla Táctil	No

Fuente: (Vásquez, A., 2014)

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

Según la tabla 29-3 se pudo establecer que el sistema desarrollado tiene su aporte al insertar visión artificial, que si bien es cierto hay modelos que superan la capacidad de bebidas como materia prima, el prototipo implementado podrá expandirse bajo el mismo principio de desarrollo ejecutado.

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Cronograma

Tabla 1-4: Cronograma.

Actividad	Mes 1		Mes 2		Mes 3		Mes 4		Mes 5		Mes 6	
	Semanas		Semanas		Semanas		Semanas		Semanas		Semanas	
	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4
Etapa de Análisis y Recolección de la Información Necesaria para definición de requerimientos	■	■										
Etapa Diseño y Configuración de elementos <i>Hardware</i> y <i>Software</i>			■	■	■	■	■					
Etapa Implementación del prototipo					■	■	■	■	■			
Etapa de Análisis de resultados y pruebas									■	■		
Etapa de redacción del informe final							■	■	■	■	■	■
Etapa de Articulación Científica											■	■

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

4.2 Recursos y materiales: humanos, equipos, financiamiento

4.2.1 Costos

En esta sección se exponen los recursos empleados para el desarrollo del proyecto, relacionando costos. En la tabla 31-4 se menciona los costos empleado para la construcción de la planta prototipo.

Tabla 2-4: Costos empleados para la construcción de la planta prototipo.

RECURSO	CANTIDAD	DETALLES	VALOR TOTAL
Elementos eléctricos	1	Ordenador	700
	1	Cámara	40
	1	Arduino UNO R3	15
	1	Shield CNC	30
	2	Motor NEMA 17	24

	2	Controlador para el Motor NEMA 17	10
	1	Fuente de Poder	20
	1	Monedero de reconocimiento de una moneda	60
	1	Cable	10
	Costo eléctrico		990
Elementos mecánicos	1	Perfil de Aluminio	45
	1	Husillo de acero	35
	2	Guías de acero	10
	4	Chumaceras	20
	Costo mecánico		110
Mano de obra	1	Diseño	200
	1	Torneado	50
	Costo de mano de obra		250
Imprevistos	1	Otros	50
	Costo Imprevistos		50
Total			1400

Realizado por: Iza Cofre, Darío Xavier, 2020

4.2.2 Talento Humano

Para la realización del proyecto se combinaron habilidades para la investigación e implementación del sistema culminándolo con éxito con los resultados esperados, el mismo que fue realizado por el proponente de este trabajo de investigación.

Ing. Pablo Lozada, Ing. Edwin Altamirano, director y miembro del trabajo de titulación quienes, con su conocimiento y experiencia colaboraron en el desarrollo del proyecto.

4.2.3 Recursos Materiales

La construcción del prototipo representó inversión por parte del ejecutor del proyecto. La adquisición de recursos materiales para la implementación no representó inconveniente, todo se encuentra disponible en el mercado.

La ventaja en este aspecto es que la planta prototipo puede ser empleada incluso como sistema insertado a un campo real, pues el dimensionamiento a pesar de ser prototipo se lo hizo con material y elementos de alta gama que garantizan su funcionalidad.

5. CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema basado en visión artificial para manipulación sin medio físico de un modelo de planta dispensadora y mezcladora de líquidos con la inserción de elementos tecnológicos que le brindan flexibilidad al sistema para poder ser replicado en entornos similares.

Se determinó mediante 50 pruebas continuas la eficiencia del sistema de visión al momento de detectar los gestos consiguiendo una eficiencia promedio del 93.14% y un tiempo de respuesta promedio para el reconocimiento de gestos de 1.81 segundos.

Mediante pruebas aplicadas en la planta prototipo se consiguió inicialmente su calibración, entendiéndose por esta al ajuste de pasos del motor del sistema de transporte así como también el de activación / desactivación del dosificador, determinando un recorrido de 0 a 40.765 pasos en el sistema de transporte y de 0 a 800 pasos en el sistema de control del dosificador.

Se comprobó que el prototipo tiene una funcionalidad constante y homogénea, al cronometrar en diez ensayos un tiempo promedio de 22 segundos en el sistema de transporte para movilizar el carro contenedor del envase de una estación a otra, con un tiempo promedio de 14 segundos para el proceso de dosificación.

Se estableció mediante pruebas al comparar con recipientes de medida que el dispensado del líquido es de 35 ml homogénea en cada interacción experimentada en el prototipo, por observación directa en los seis ensayos realizados no se apreciaron diferencias representativas, por lo que no se afecta el proceso de mezcla del líquido.

Se calculó que el consumo energético total del prototipo es de 209.61Wh, lo que indica que el costo de funcionamiento es bajo, considerando que la tarifa promedio establecida en Ecuador es de 10 centavos el kWh.

6. RECOMENDACIONES

Para uso del algoritmo de visión artificial se recomienda implementar un sistema de control de iluminación, para evitar la continua calibración del sistema de adquisición de imagen.

Se recomienda estudiar la posibilidad de incluir un sistema de dosificación para líquidos de densidad y viscosidad variable y diseñar un mecanismo de agitación para el proceso de mezcla.

Se recomienda migrar el algoritmo de visión artificial a un lenguaje basado en *software* libre ya que LabVIEW es *software* propietario.

GLOSARIO

Visión Artificial: Se define como visión artificial o visión por computador, a un sub campo de la inteligencia artificial que tiene como objetivo principal la recopilación de información mediante la utilización de técnicas adecuadas, que permiten la obtención, procesamiento y análisis del entorno físico partiendo de imágenes digitales tomando un computador como herramienta. La visión artificial engloba a cualquier proceso óptico mediante el cual un sistema inteligente es capaz de extraer información de un entorno para su interpretación mediante el uso de la computadora (Jiménez Ochoa M., 2015, pp. 1-193).

LabVIEW: Es una herramienta de programación gráfica. Originalmente este programa estaba orientado para aplicaciones de control de equipos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual (Vizcaíno y Sebastián, 2011, p. 22).

Arduino: es una plataforma embebida que contiene como elemento principal un microcontrolador reprogramable, el mismo que permite la adquisición de señales, procesamiento mediante sentencias programadas y la emisión de señales de control. Este sistema embebido además se acopla a una amplia gama de sensores de la misma marca u otra que proporcionen señales del tipo digital y/o analógico para ser procesadas y según su evaluación por medio de interfaces de potencia poder realizar el control de actuadores sin importar la carga que manejen (Arduino, 2020).

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA Escobar Andrés. *Visión artificial aplicada a la detección e identificación de personas en tiempo real*. 19 de febrero de 2019 [citado 23 de enero de 2020]; Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20098>

ALTAMIRANO Tigrero VA, Pazmiño Oñate EJ. Diseño e implementación de un módulo didáctico de inspección y clasificación de frutas usando visión artificial por medio de imágenes fuera del espectro visible para el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. 31 de agosto de 2018 [citado 23 de enero de 2020]; Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/14945>

ARDUINO. *Software Arduino*. [en línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc>.

ARDUINO. *¿Qué es Arduino?* [en línea]. Disponible en: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>.

ARTERO, T.Ó. *ARDUINO Curso básico de formación*. Alfaomega, 2013. DOI 9788494072505. p. 62.

BAILLY G, Müller J, Lecolinet E. *Design and evaluation of finger-count interaction: Combining multitouch gestures and menus*. Int J Hum-Comput Stud. 1 de octubre de 2012; p. 673-89.

BISWAS KK, Basu SK. Gesture recognition using Microsoft Kinect®. En: The 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications. 2011. p. 100-3.

BRADSKI G, Adrian Kaehler GB Adrian Kaehler. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library* - - [en línea]. O'Reilly Media; 2008 [citado 14 de enero de 2020]. Disponible en:

https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=seAgiOfu2EIC&oi=fnd&pg=PR3&dq=open+cv&ots=hUK96icCK9&sig=jOL4DzNRIL2C7FgfwKNx9__QCmc&redir_esc=y#v=onepage&q=open%20cv&f=false

CROGAN P. La automatización y digitalización de la vida cotidiana. *The automation of Everyday Life* [en línea]. 2016 [citado 23 de enero de 2020]; Disponible en: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/167716>

FOLEA S. *Practical applications and solutions using LabVIEW software* [en línea]. Rijeka: Intech; 2011 [citado 14 de enero de 2020]. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/practical-applications-and-solutions-using-labview-software>

FUENTES JG, Davó AN, Reolid AJ, Varón DJ. *Visión artificial aplicada al control de la calidad*. 2014; p. 12.

GARCÍA I, Caranqui V. *La visión artificial y los campos de aplicación*. Tierra Infin. 25 de diciembre de 2015; p. 94-103.

JIMÉNEZ Ochoa M. "Desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección de aglomeración de personas en un semáforo [en línea]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA; 2015. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11225/1/Jim%20c3%a9nez%20Ochoa%20%20Magaly%20Gabriela.pdf>

LAJARA JR, Pelegri J. *LabVIEW: Entorno gráfico de programación - José Rafael Lajara Vizcaíno, José Pelegrí Sebastía - Google Libros* [en línea]. Segunda. Ediciones Técnicas; 2011 [citado 29 de diciembre de 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ZFQua3-eeQEC&oi=fnd&pg=PA21&dq=COMUNICACION+SERIAL+EN+LABVIEW&ots=qI1xU8SFhu&sig=gfJ14V93tVGnHRzA5eglxa5zszl&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

LAJARA Vizcaíno JR, Pelegrí Sebastía J. *LabVIEW Entorno gráfico de programación* [en línea]. México, D. F.: ALFAOMEGAGRUPO EDITOR,; 2007. Disponible en: <http://www.marcombo.com/descargas>

LEÓN CAD, Montoya EMH, Arredondo EAG, López GAM. *Diseño y desarrollo de un sistema de interacción para su implementación en un aula de clase inteligente*. 2016;16.

LÓPEZ Mena D. *Diseño e implementación de un sistema de Visión Artificial para determinar condiciones de fatiga en una persona mediante el índice Perclos, utilizando Open CV y una tarjeta Raspberry Pi 3*. 27 de julio de 2017 [citado 23 de enero de 2020]; Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17531>

LUNA González. *El diseño de interfaz gráfica de usuario para publicaciones digitales*. 2004; p. 5.

NOGUÉ A, Antiga J. *Conocimientos básicos de visión artificial*. 2012; p. 28.

PÉREZ Alberto, Pérez Analía, Pérez Elisa. *Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo*. 2008. 69 p.

SÁNCHEZ Calle A. *Aplicaciones de la visión artificial y la biometría informática*. Madrid, SPAIN: DYKINSON; 2005.

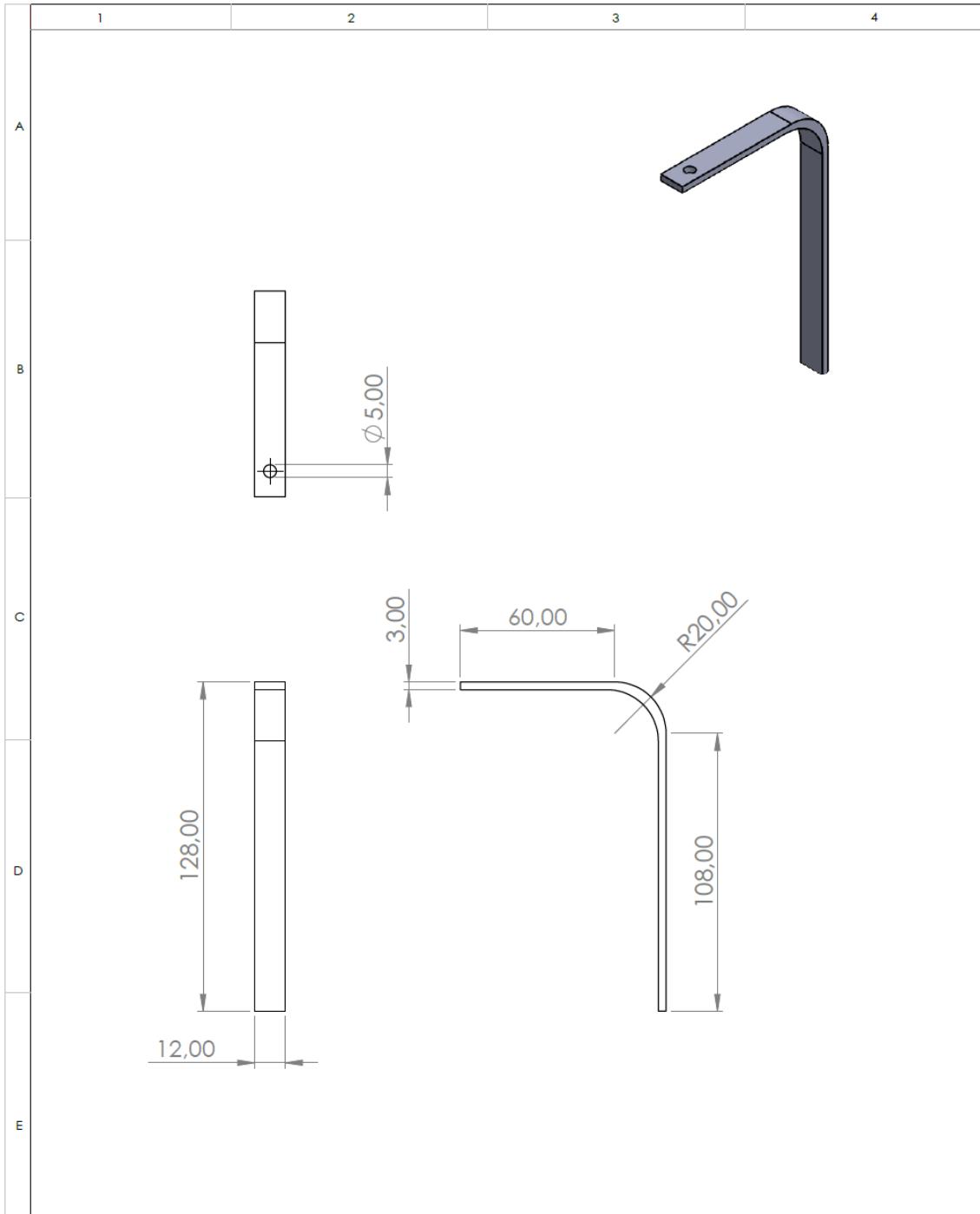
TULBERT DJ. *Human-machine interface* [en línea]. US7859519B2, 2010 [citado 10 de enero de 2020]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US7859519B2/en>



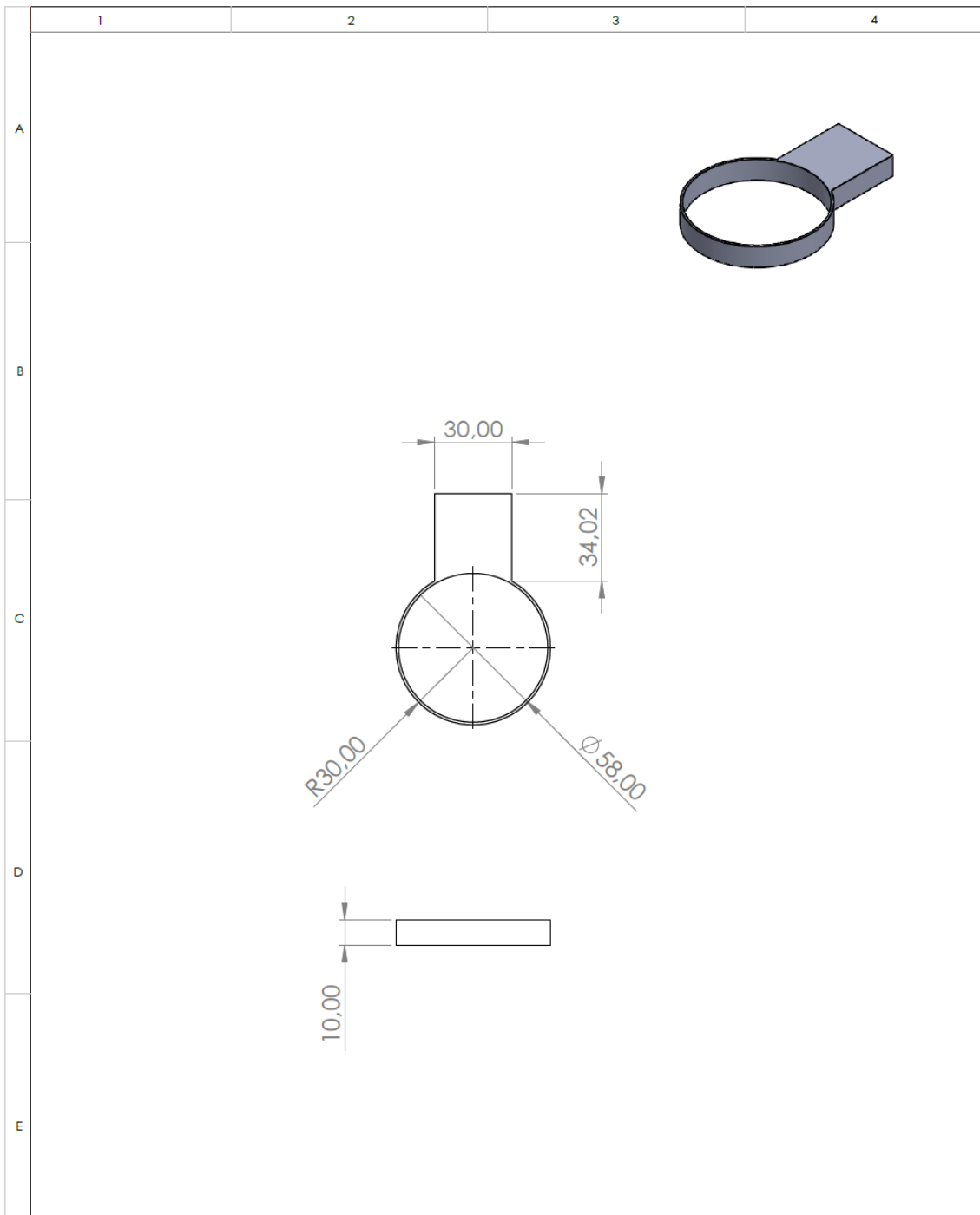
Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXOS

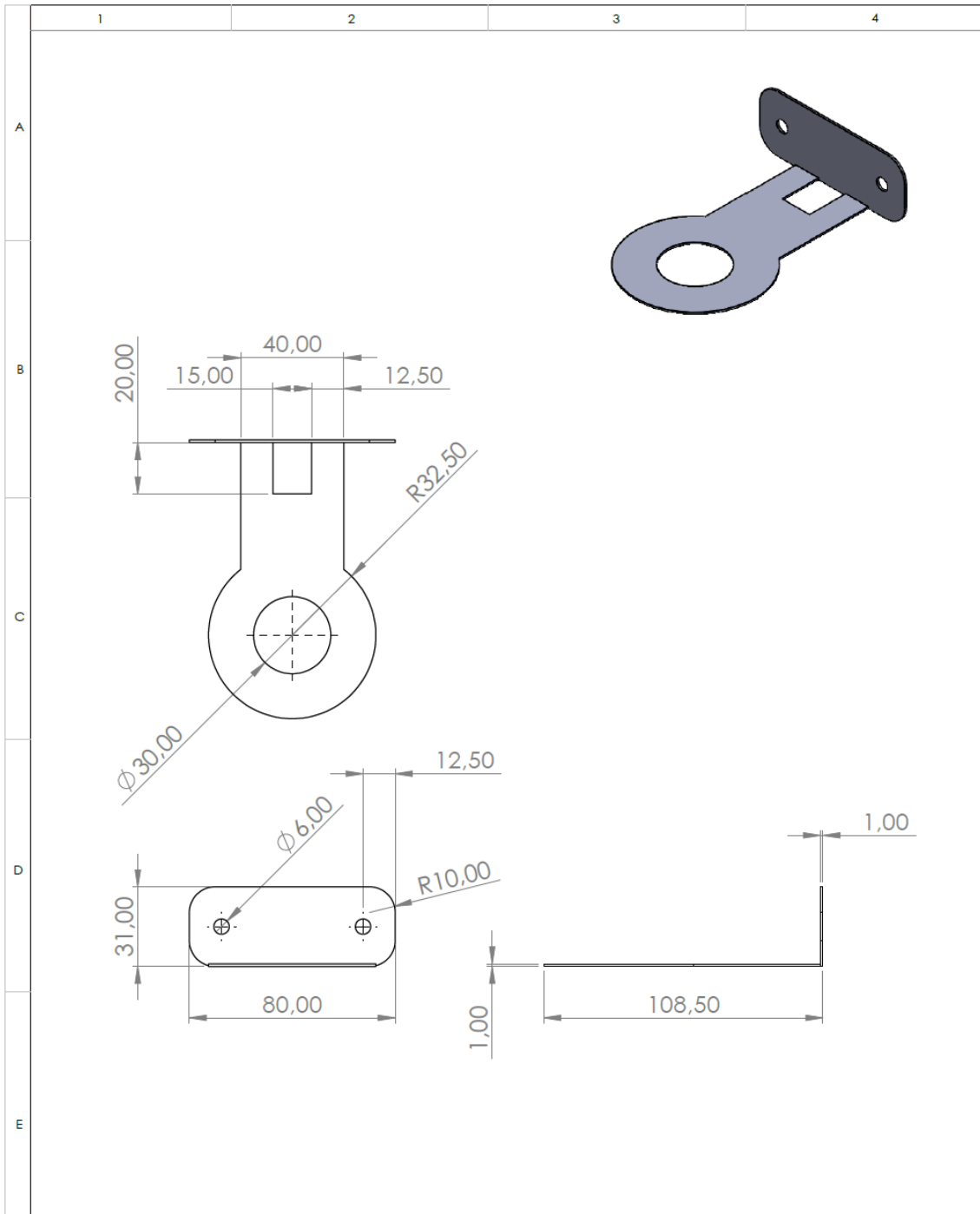
ANEXO A. DISEÑO E LA PLANTA – LÁMINA



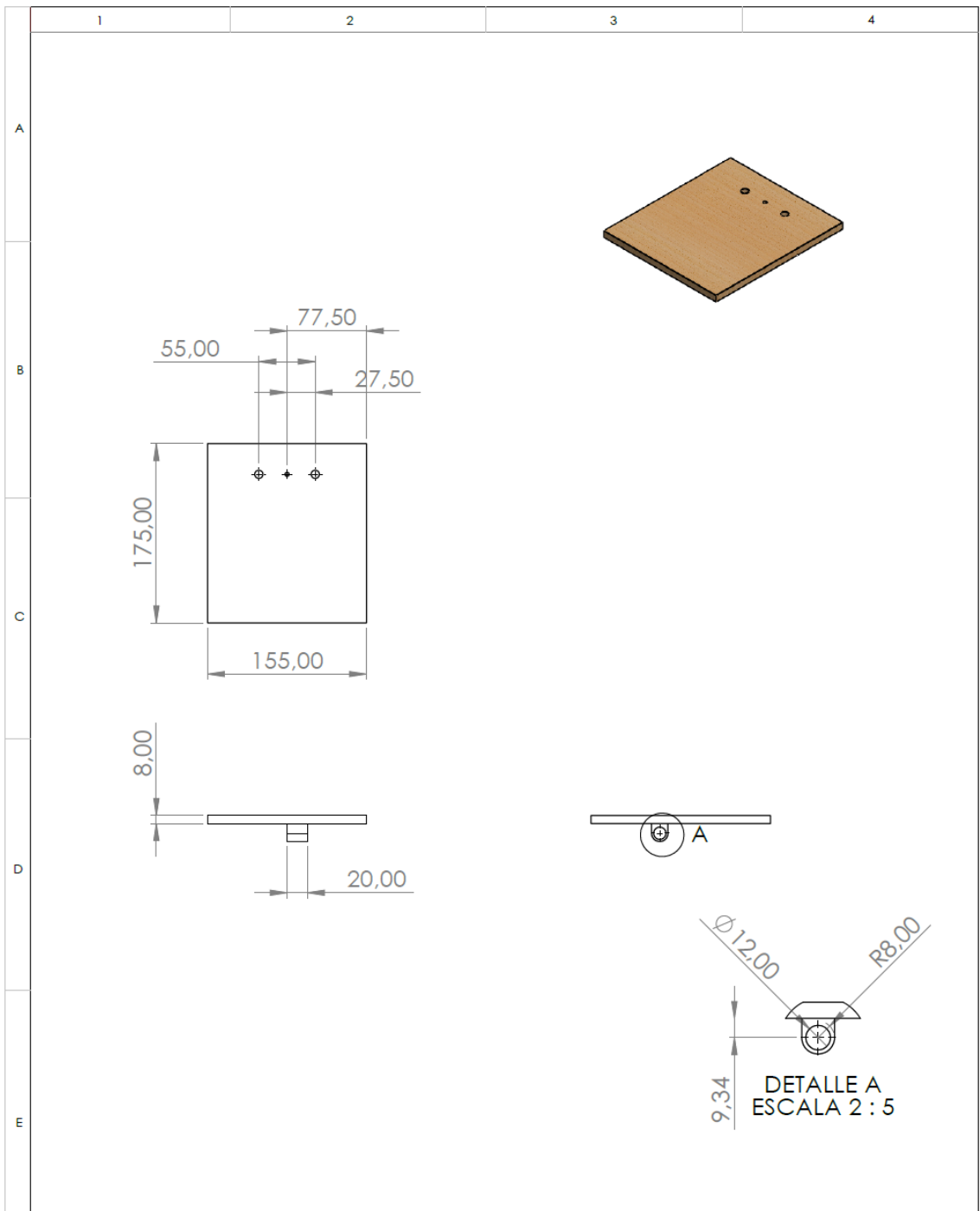
No de lamina		No de hojas: 1 de 21		Denominación:		ESPOCH			
Sustitución:				Extension soporte				Peso (Kg)	Tolerancia
Datos	Nombre	Código	Fecha					1:2	
Dibujó	Iza D.			Materiales:		Codificación			
Proyectó	Iza D.			AISI 1020					
Revisó									
Aprobó									



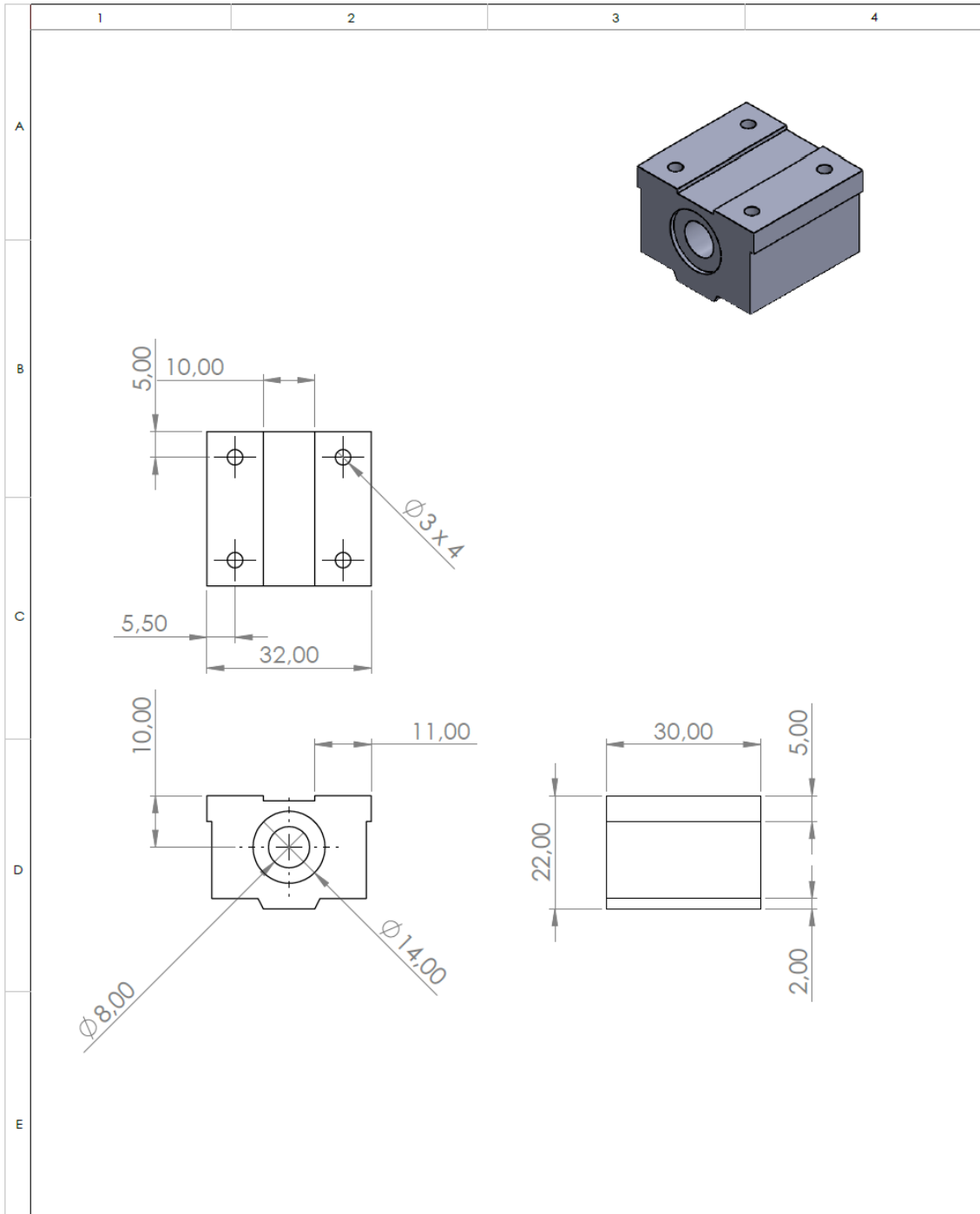
No de lamina		No de hojas: 2 de 21		Denominación:		ESPOCH				
Sustitución:				Anillo sujetador						Peso (Kg)
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:		Codificación		
Dibujó	Iza D.							1:2		
Proyectó	Iza D.									
Revisó										
Aprobó										



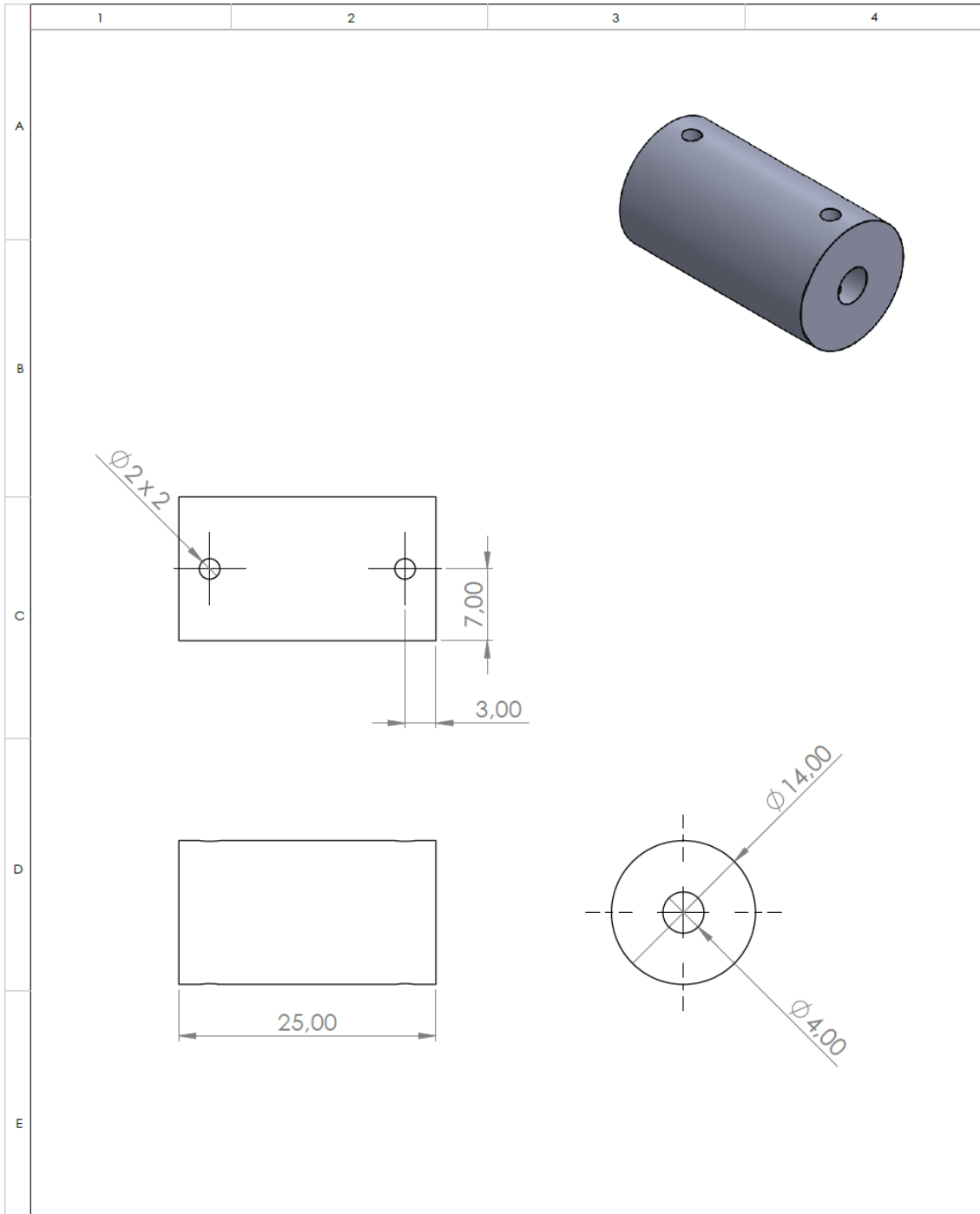
No de lamina		No de hojas: 3 de 21		Denominación:		ESPOCH			
Sustitución:				Base dispensador					
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:			
Dibujó	Iza D.					Codificación			
Proyectó	Iza D.								
Revisó									
Aprobó									



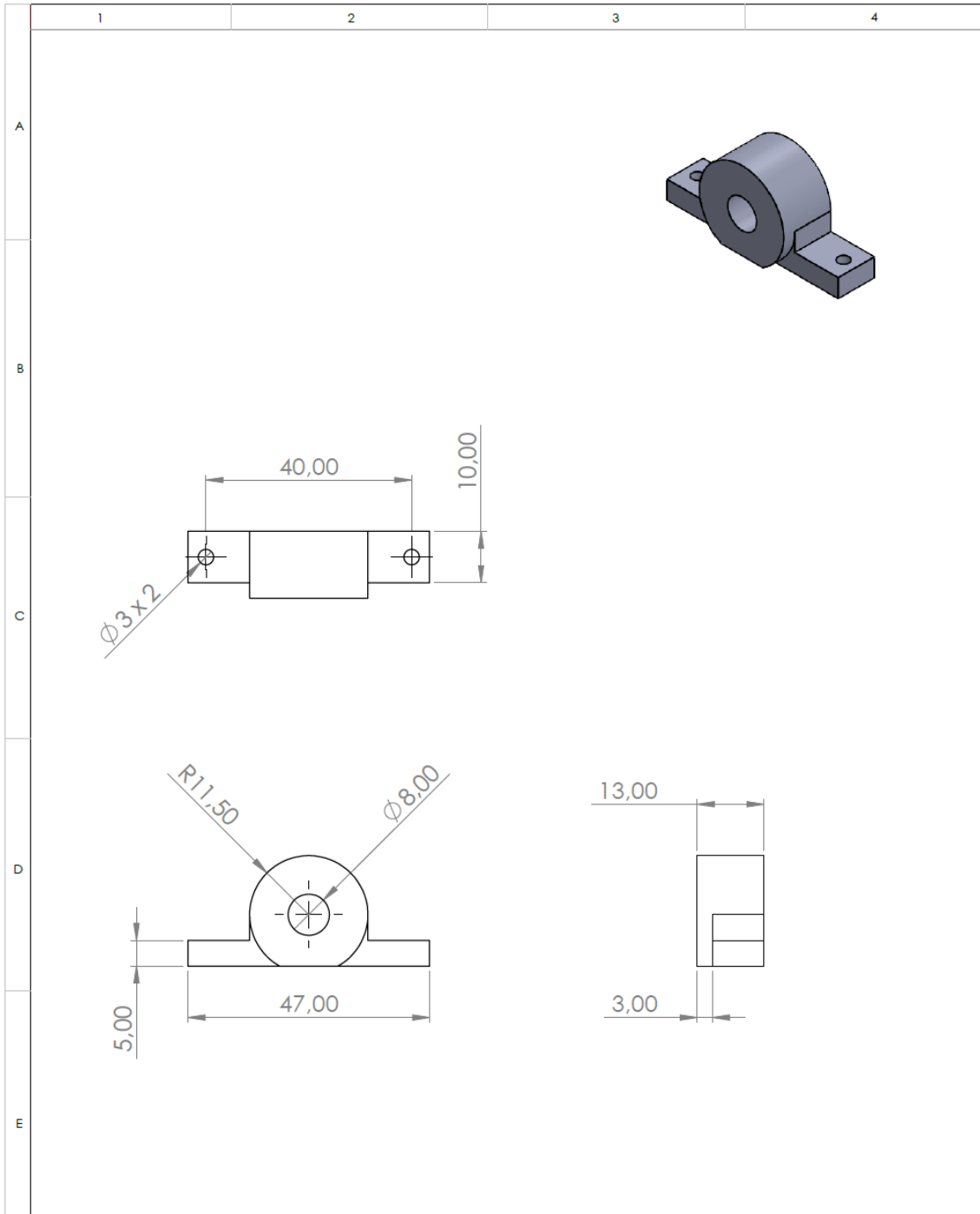
No de lamina		No de hojas: 4 de 21		Denominación:		ESPOCH	
Sustitución:				Base de riel			
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:	
Dibujó	Iza D.					1:5	
Proyectó	Iza D.					Codificación	
Revisó							
Aprobó							



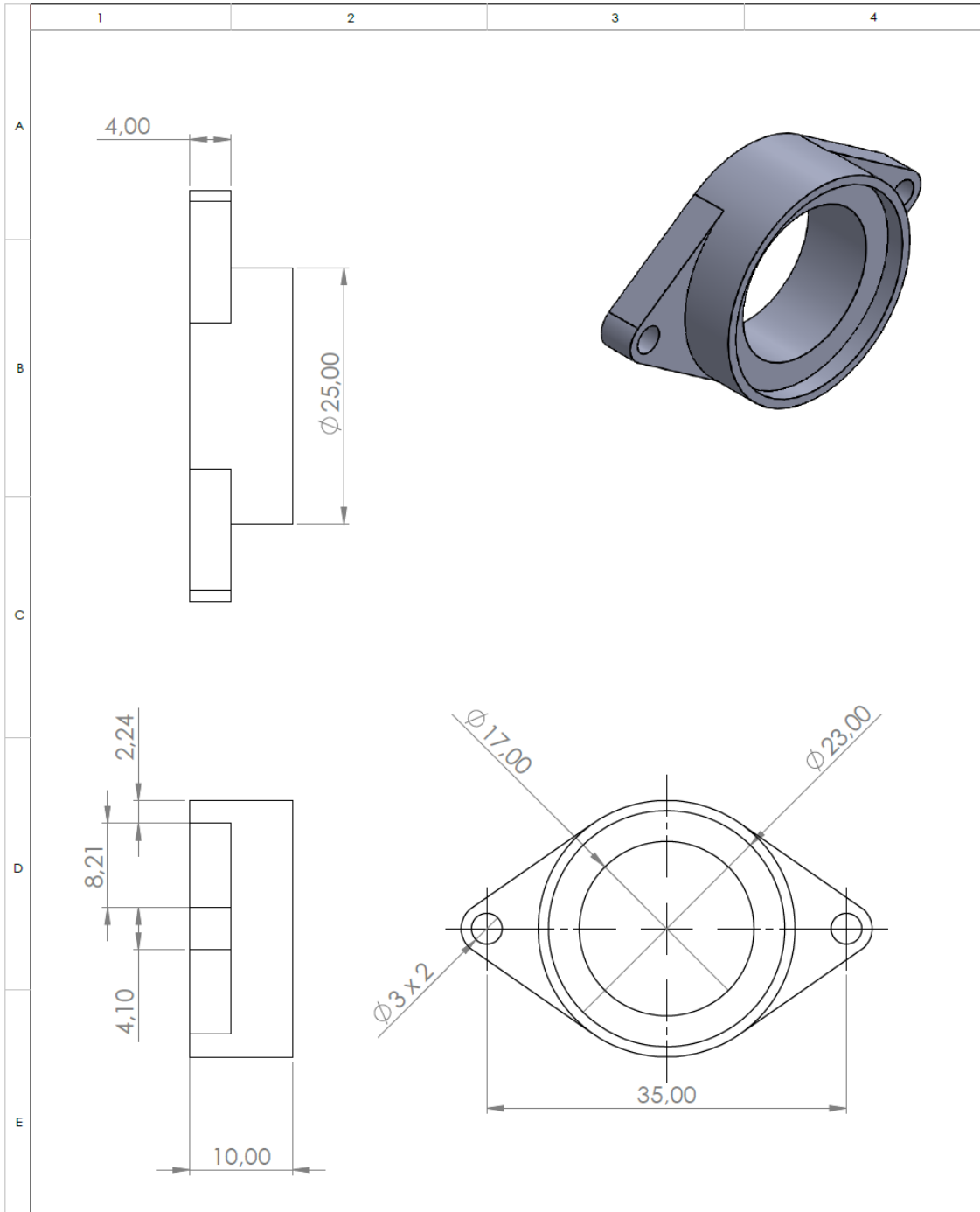
No de lamina		No de hojas: 5 de 21		Denominación:		<h1>ESPOCH</h1>					
Sustitución:				<h2>Bosin para riel</h2>						Peso (Kg)	Tolerancia
Datos	Nombre	Código	Fecha					1:1			
Dibujó	Iza D.					Materiales:		Codificación			
Proyectó	Iza D.										
Revisó											
Aprobó											



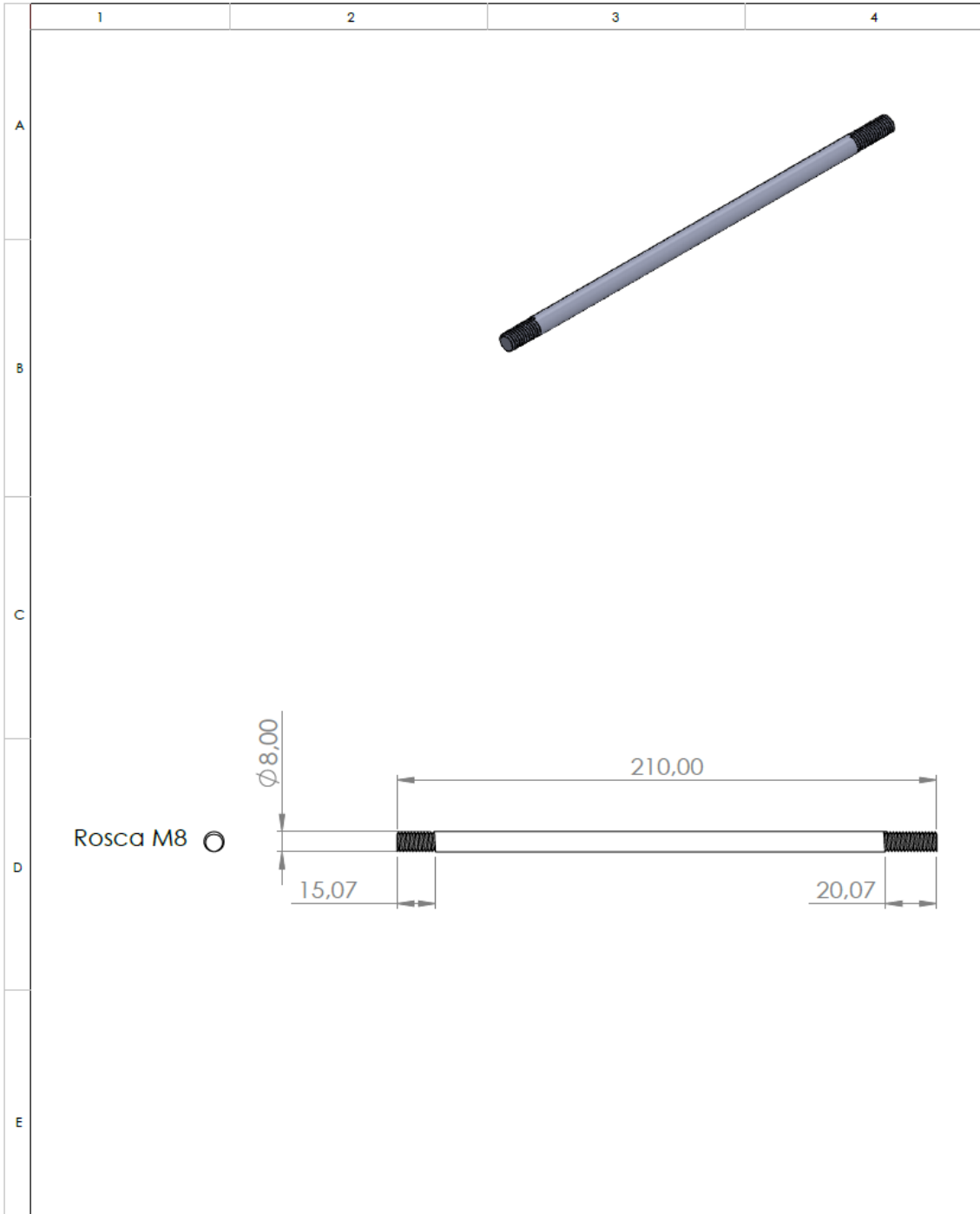
No de lamina		No de hojas: 6 de 21		Denominación:		ESPOCH				
Sustitución:				Bosin para sin fin				Peso (Kg)	Tolerancia	Escala
Datos	Nombre	Código	Fecha					2:1		
Dibujó	Iza D.					Materiales:		Codificación		
Proyectó	Iza D.									
Revisó										
Aprobó										



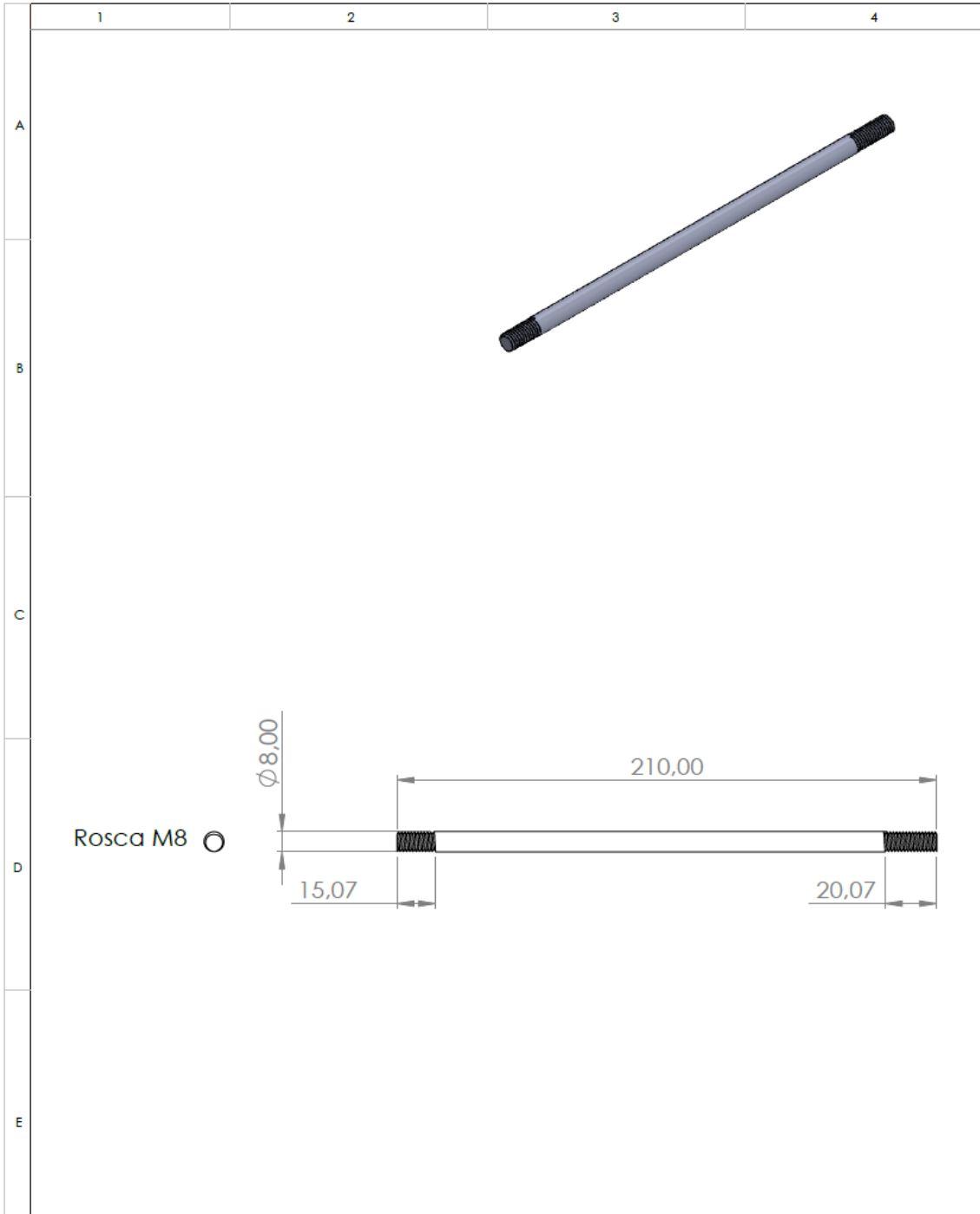
No de lamina		No de hojas: 7 de 21		Denominación:		ESPOCH				
Sustitución:				Brida deslizador				Peso (Kg)	Tolerancia	Escala
Datos	Nombre	Código	Fecha					1:1		
Dibujó	Iza D.					Materiales:		Codificación		
Proyectó	Iza D.									
Revisó										
Aprobó										



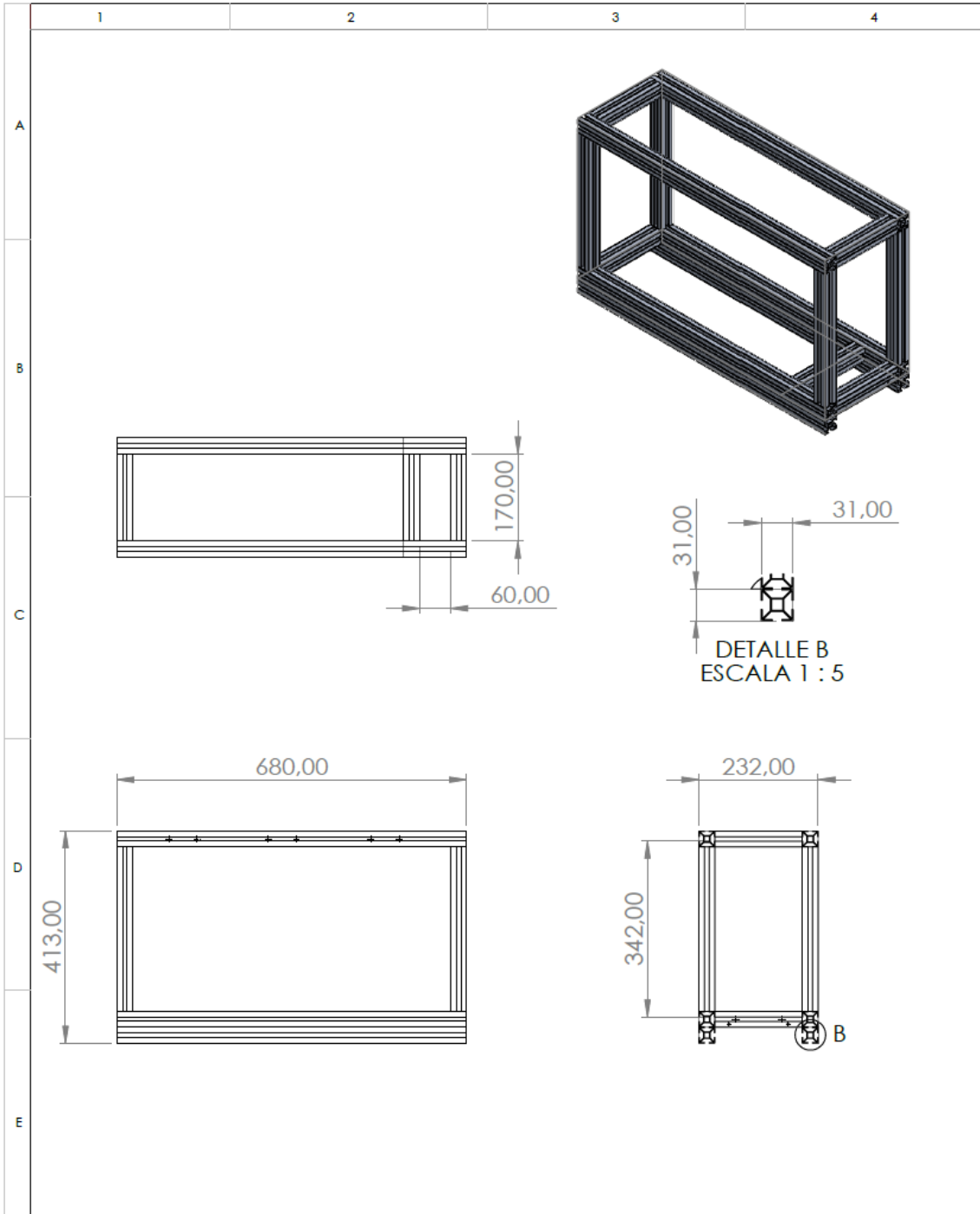
No de lamina		No de hojas: 8 de 21		Denominación:		ESPOCH	
Sustitución:				Chumacera			
Datos	Nombre	Código	Fecha			Peso (Kg)	Tolerancia
Dibujó	Iza D.					2:1	
Proyectó	Iza D.			Materiales:		Codificación	
Revisó							
Aprobó							



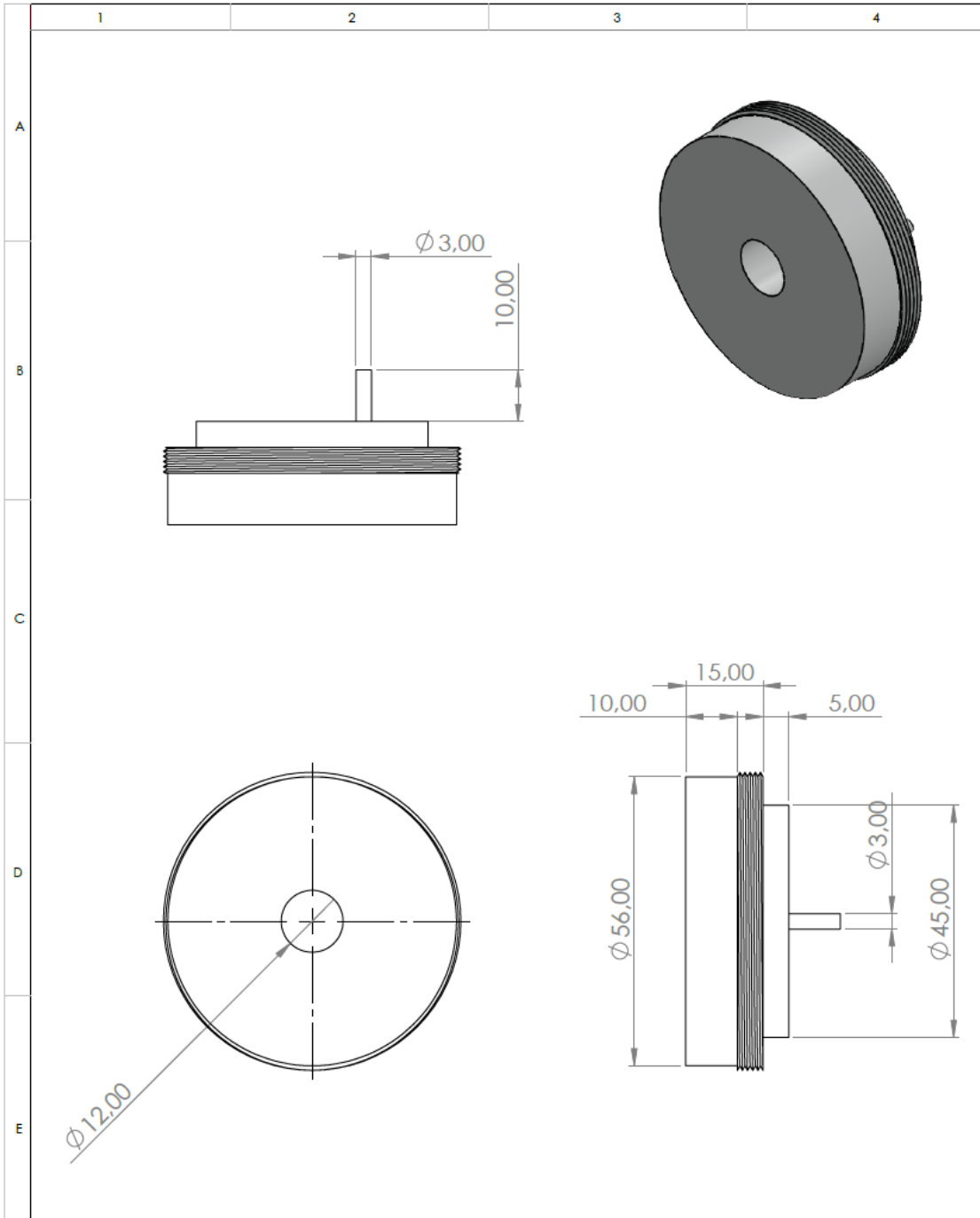
No de lamina		No de hojas: 9 de 21		Denominación:		ESPOCH			
Sustitución:				Eje deslizador Vertical				Peso (Kg)	Tolerancia
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:			
Dibujó	Iza D.					Codificación			
Proyectó	Iza D.								
Revisó									
Aprobó									



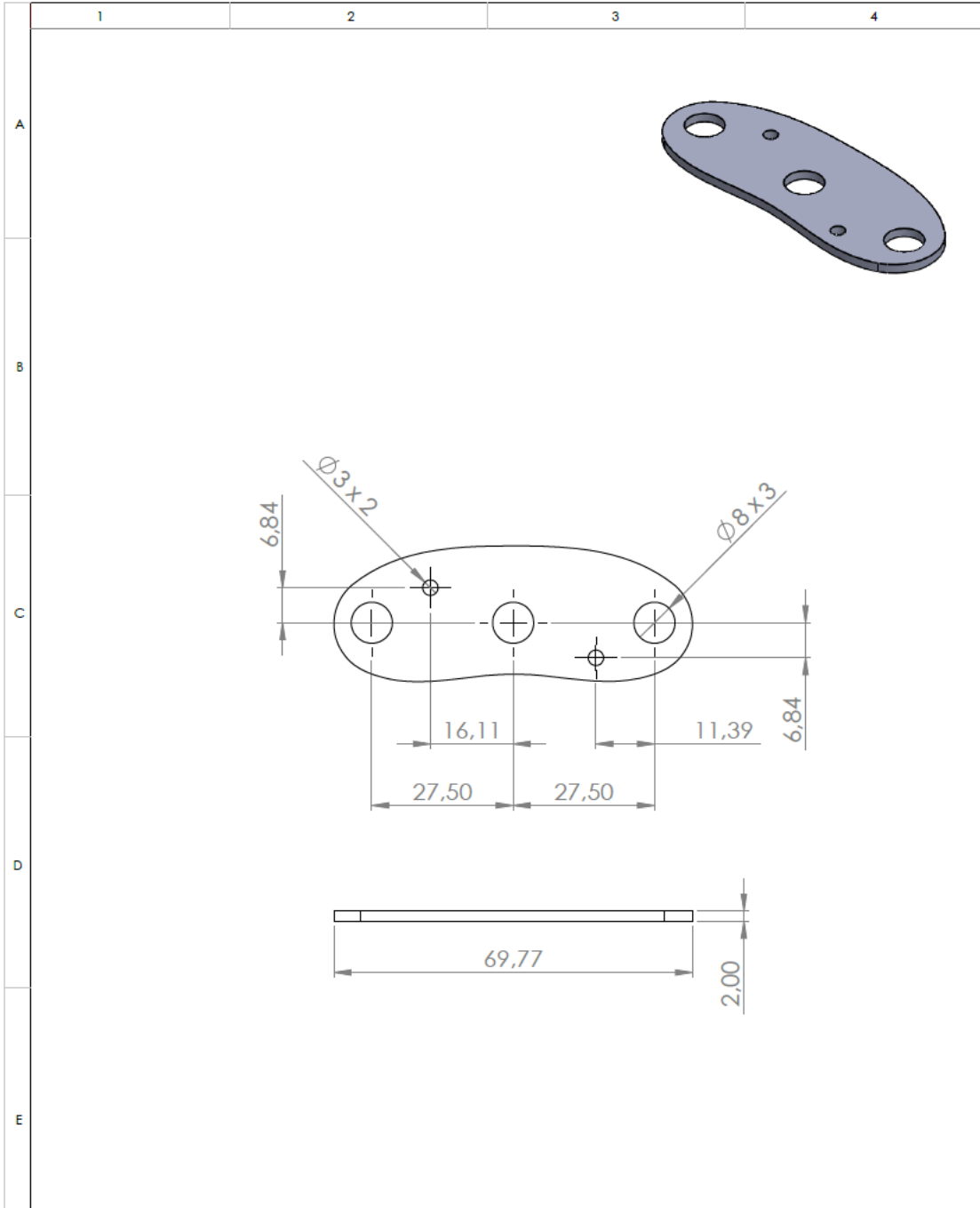
No de lamina		No de hojas: 9 de 21		Denominación:		ESPOCH			
Sustitución:				Eje deslizador Vertical				Peso (Kg)	Tolerancia
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:			
Dibujó	Iza D.					Codificación			
Proyectó	Iza D.								
Revisó									
Aprobó									



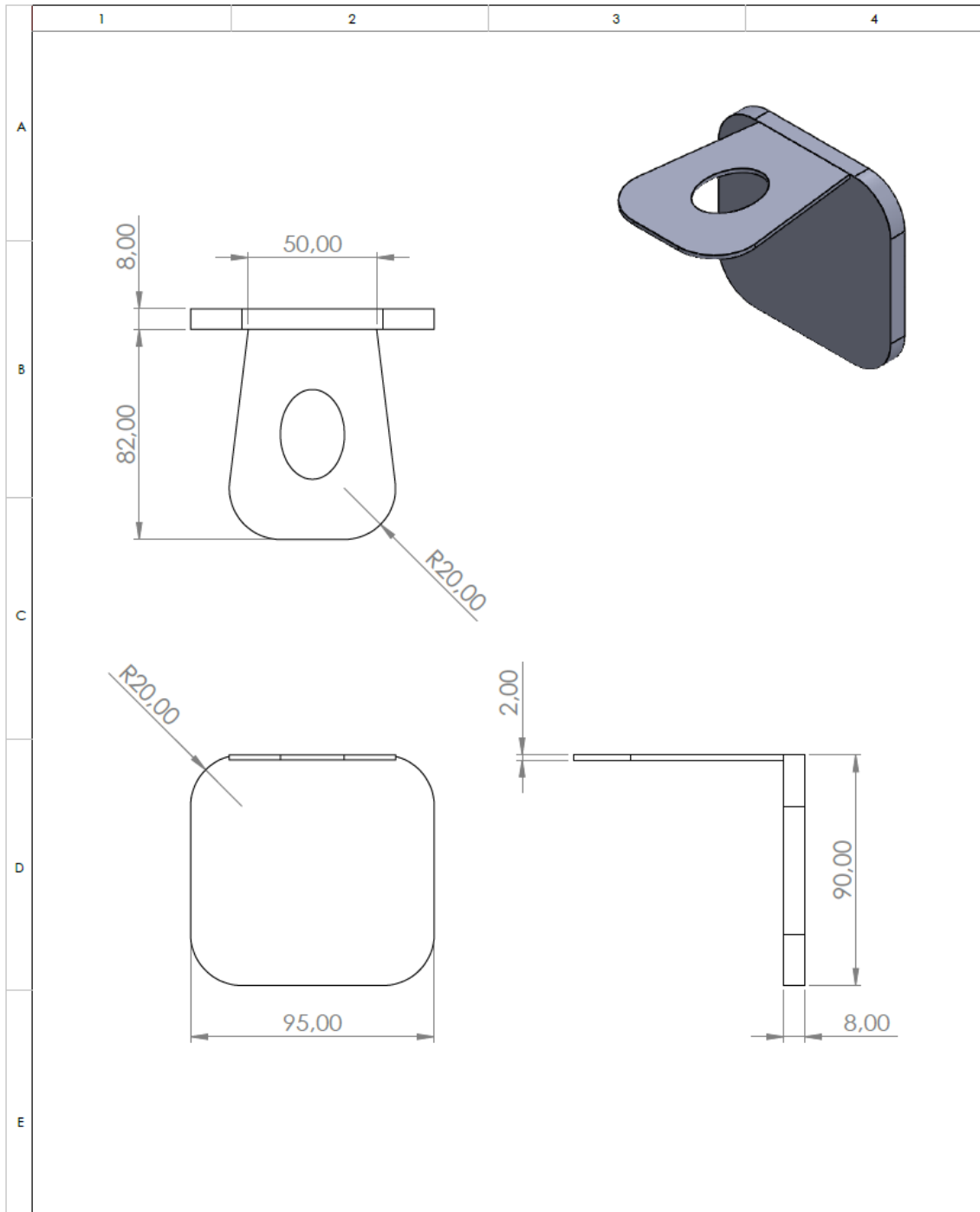
No de lamina		No de hojas: 11 de 21		Denominación:		ESPOCH					
Sustitución:				Estructura						Peso (Kg)	Tolerancia
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:				1:10	
Dibujó	Iza D.			Aluminio 6063		Codificación					
Proyectó	Iza D.										
Revisó											
Aprobó											



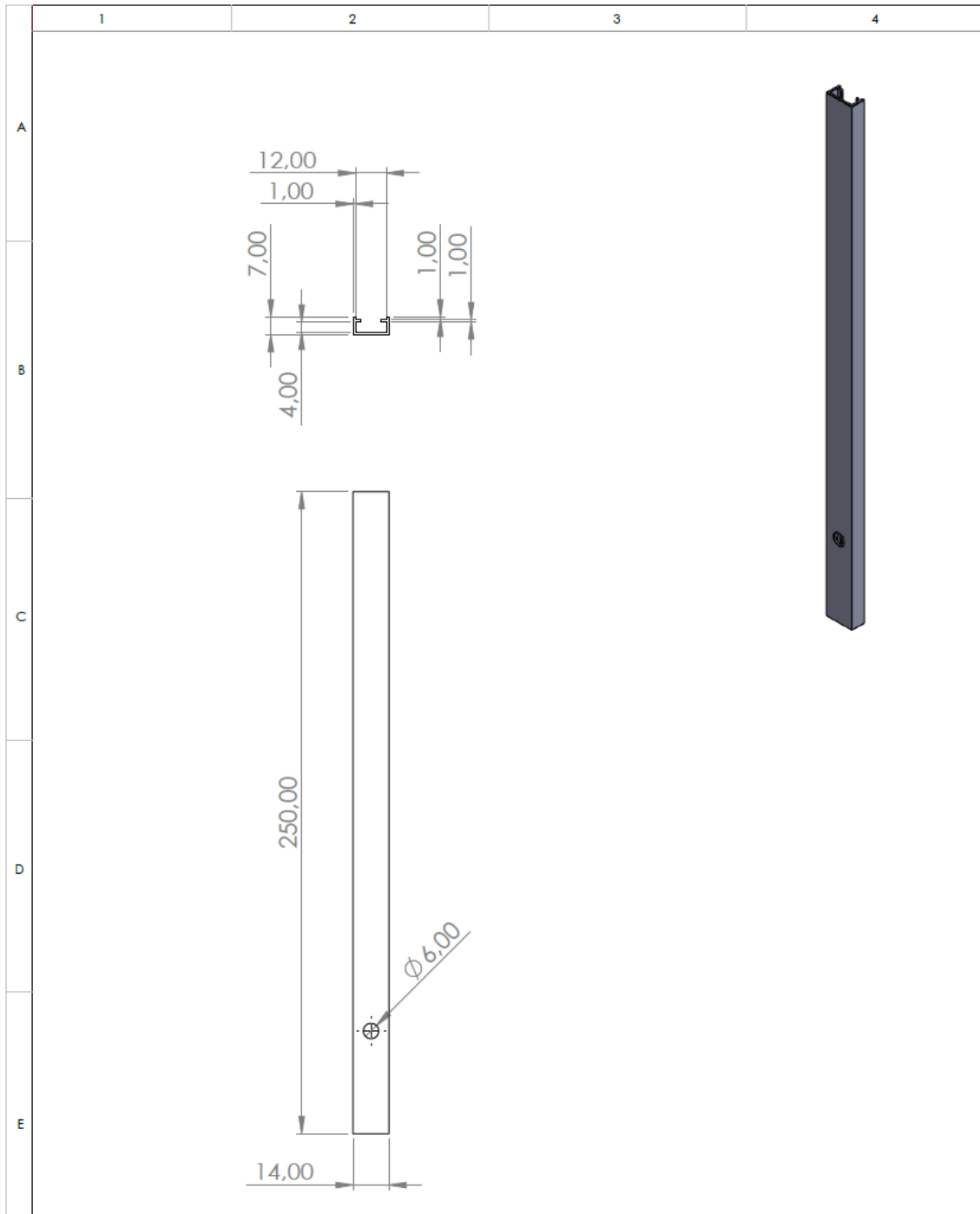
No de lamina		No de hojas: 12 de 21		Denominación:		ESPOCH	
Sustitución:				Filtro dispensador			
Datos	Nombre	Código	Fecha			Peso (Kg)	Tolerancia
Dibujó	iza D.					1:1	
Proyectó	iza D.			Materiales:		Codificación	
Revisó							
Aprobó							



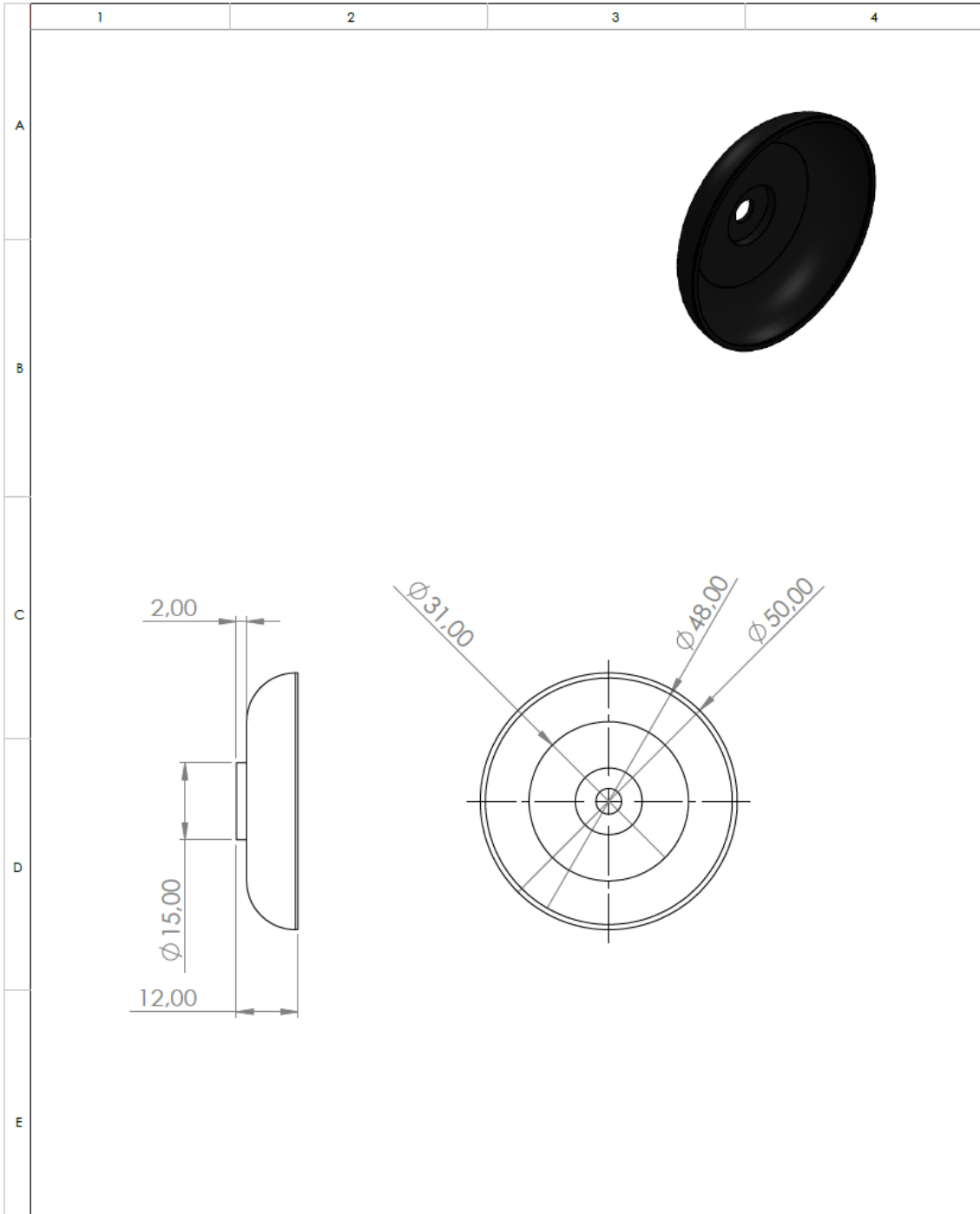
No de lamina		No de hojas: 13 de 21		Denominación:		ESPOCH	
Sustitución:				Placa separadora			
Datos	Nombre	Código	Fecha			Peso (Kg)	Tolerancia
Dibujó	iza D.					1:1	
Proyectó	iza D.			Materiales:		Codificación	
Revisó							
Aprobó							



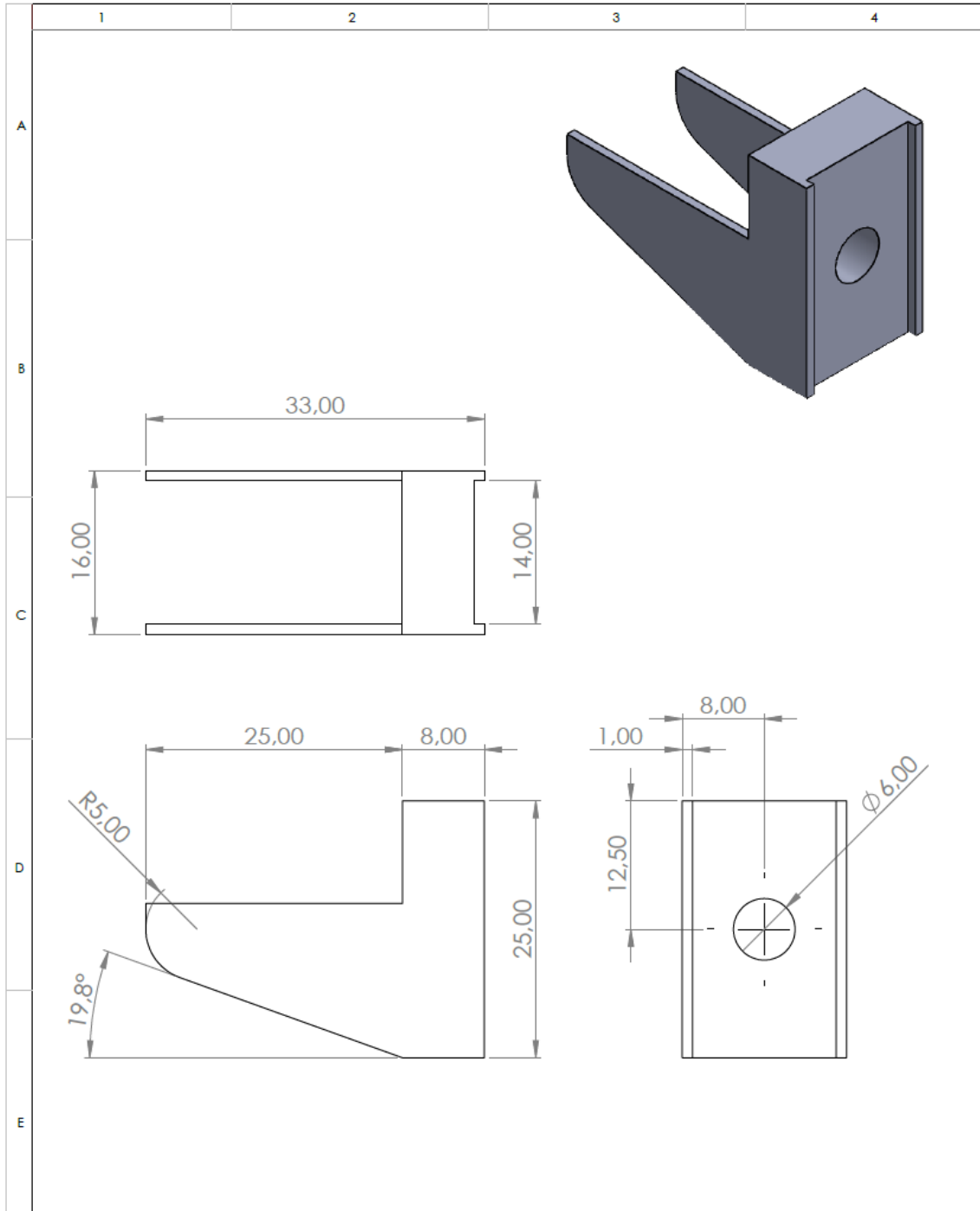
No de lamina		No de hojas: 15 de 21		Denominación:		ESPOCH	
Sustitución:				Espaldar deslizador			
Datos	Nombre	Código	Fecha			Peso (Kg)	Tolerancia
Dibujó	iza D.					1:2	
Proyectó	iza D.			Materiales:		Codificación	
Revisó							
Aprobó							



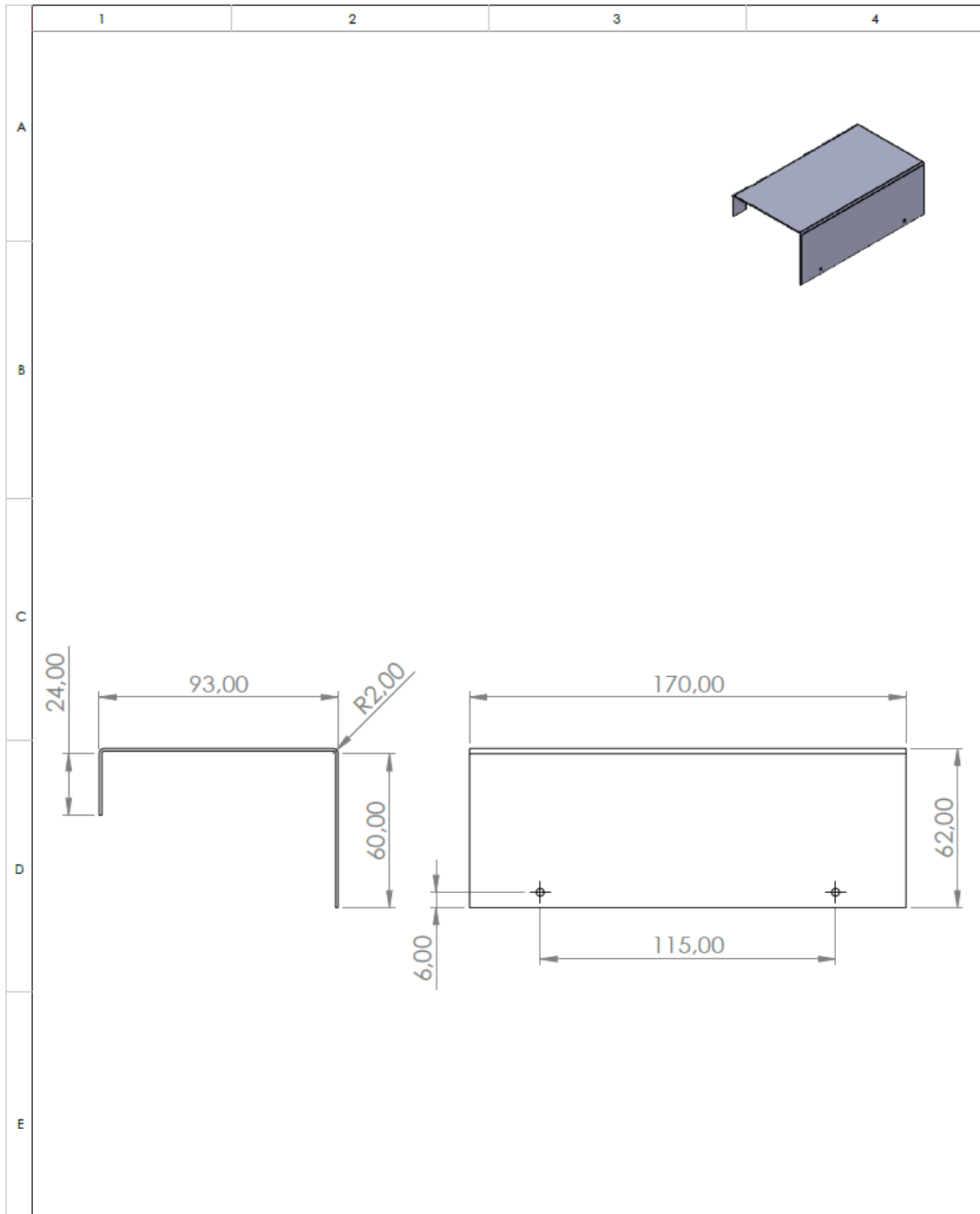
No de lamina		No de hojas: 16 de 21		Denominación:		ESPOCH			
Sustitución:				Soporte dispensador				Peso (Kg)	Tolerancia
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:			
Dibujó	Iza D.			Codificación					
Proyectó	Iza D.								
Revisó									
Aprobó									



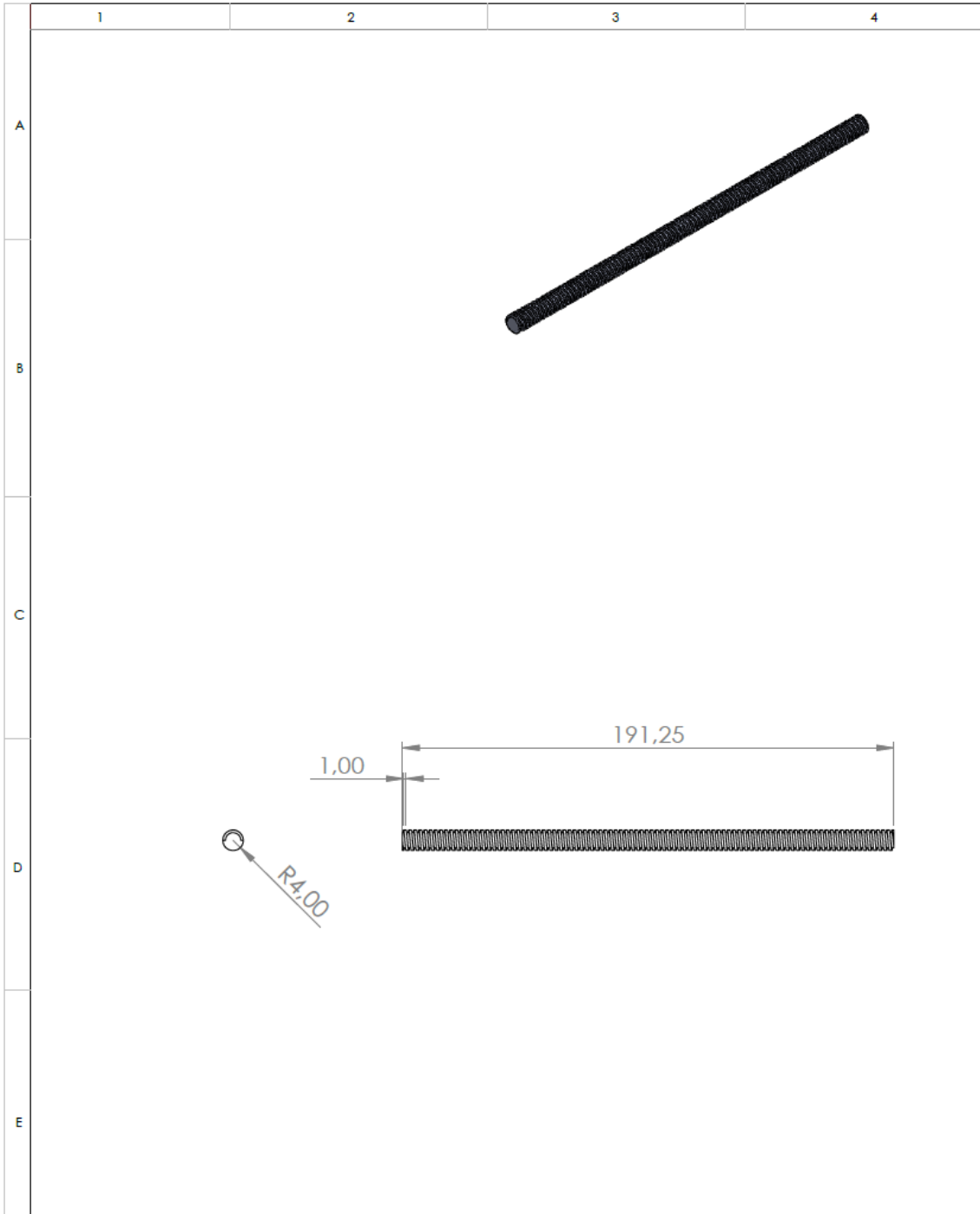
No de lamina		No de hojas: 17 de 21		Denominación:		ESPOCH			
Sustitución:				Seguro superior				Peso (Kg)	Tolerancia
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:		Codificación	
Dibujó	Iza D.							1:1	
Proyectó	Iza D.								
Revisó									
Aprobó									



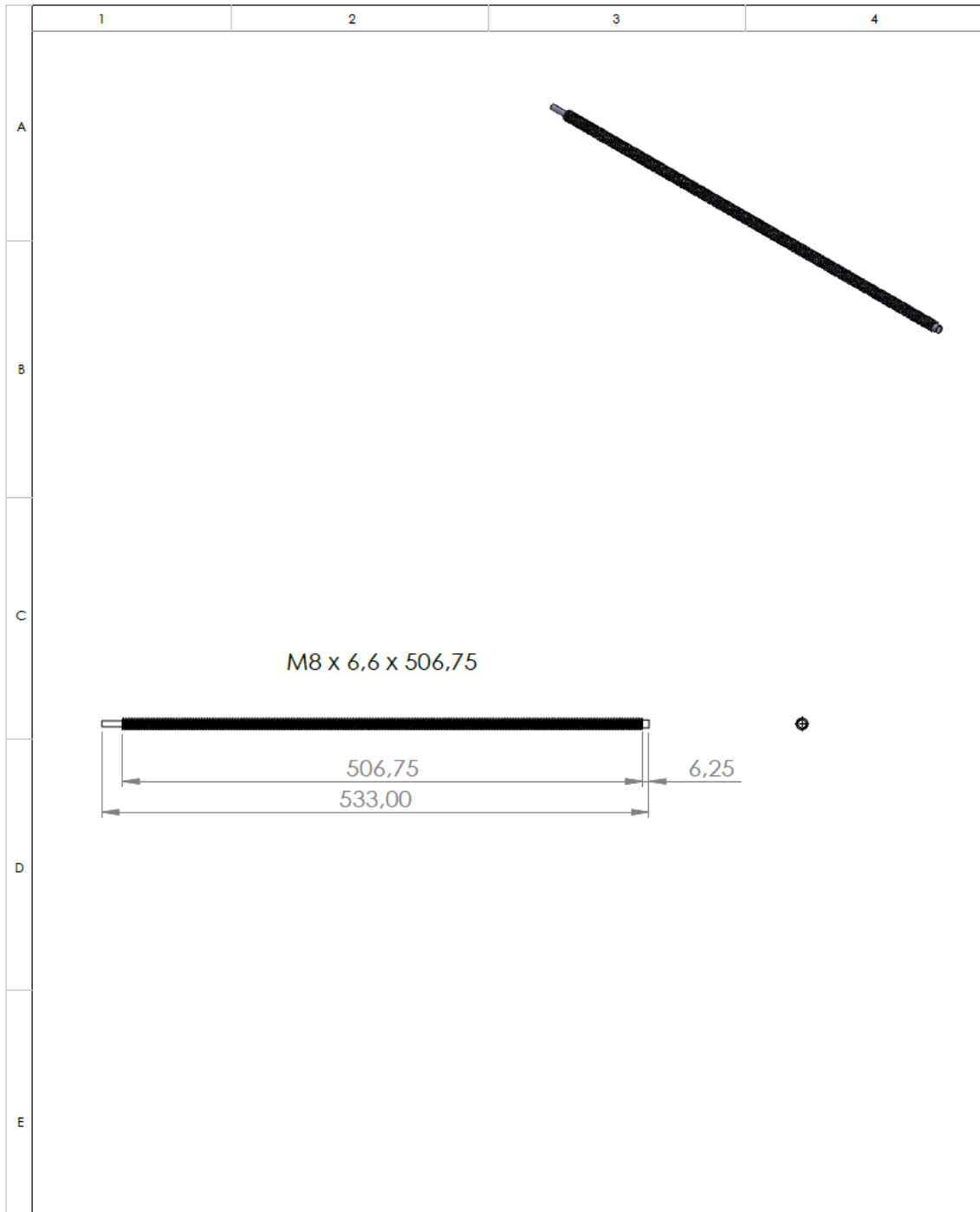
No de lamina		No de hojas: 18 de 21		Denominación:		ESPOCH					
Sustitución:				Unión para dispensador						Peso (Kg)	
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:				±	2:1
Dibujó	Iza D.			Codificación							
Proyectó	Iza D.										
Revisó											
Aprobó											



No de lamina		No de hojas: 19 de 21		Denominación:		ESPOCH	
Sustitución:				Soporte para motor			
Datos	Nombre	Código	Fecha			Peso (Kg)	Tolerancia
Dibujó	Iza D.					1:5	
Proyectó	Iza D.			Materiales:		Codificación	
Revisó							
Aprobó							




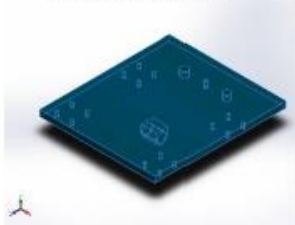
No de lamina		No de hojas: 20 de 21		Denominación:		ESPOCH			
Sustitución:				Eje sin fin riel				Peso (Kg)	Tolerancia
Datos	Nombre	Código	Fecha			Materiales:		Codificación	
Dibujó	iza D.							1:2	
Proyectó	iza D.								
Revisó									
Aprobó									



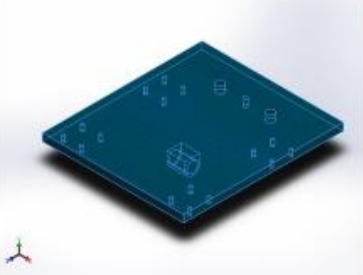
No de lamina		No de hojas: 21 de 21		Denominación:		ESPOCH		
Sustitución:				Eje sin fin deslizador		Registro		
Datos	Nombre	Código	Fecha			Peso (Kg)	Tolerancia	Escala
Dibujó	Ita D.			Materiales:		Codificación		
Proyectó	Ita D.					1:5		
Revisó								
Aprobó								

ANEXO B. ANÁLISIS ESTÁTICO


INFORMACIÓN DEL MODELO

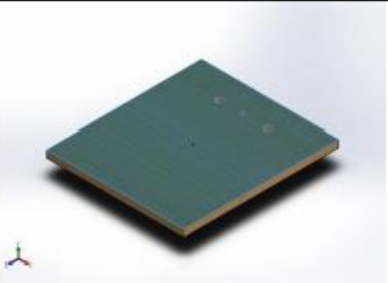
 <p>Nombre del modelo: Base Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir2 	Sólido	Masa:0.0349026 kg Volumen:0.000218155 m ³ Densidad:159.99 kg/m ³ Peso:0.342046 N	E:\Otros\Coctelera\Base.SLDPR T Jan 31 00:20:29 2020

PROPIEDADES DE MATERIAL

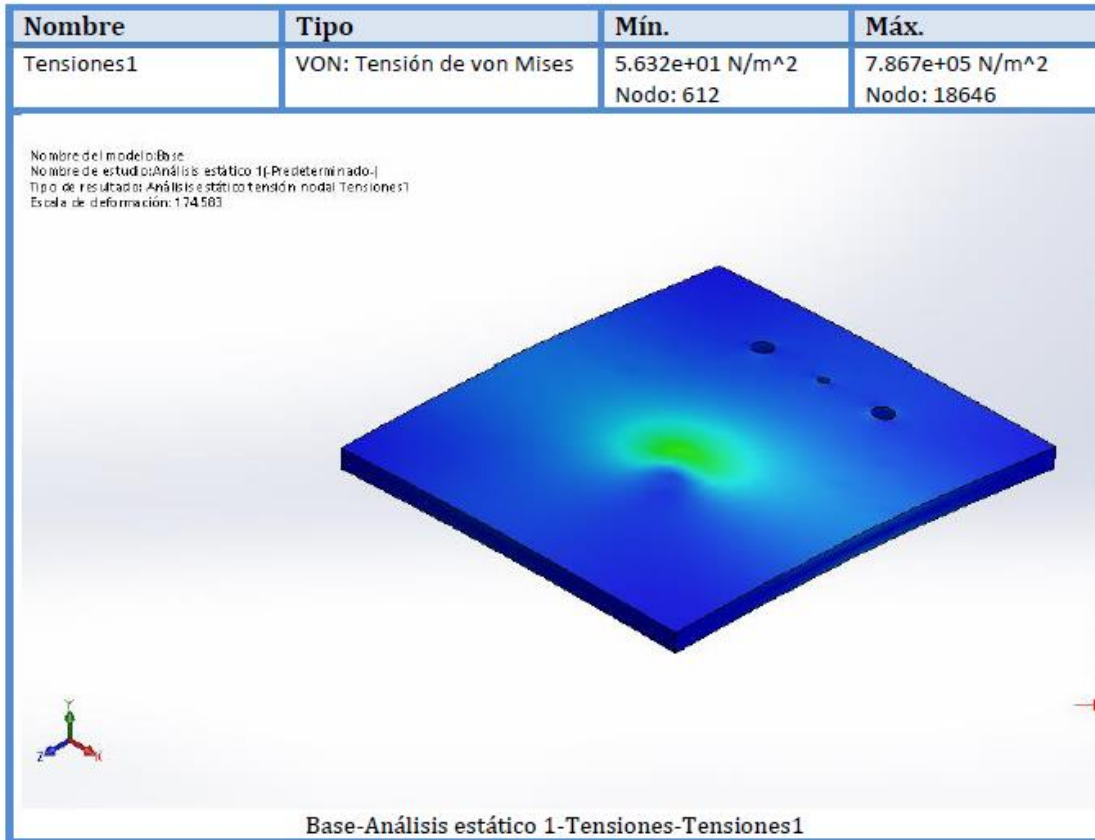
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Balsa</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2e+07 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 3e+09 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 159.99 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 3e+08 N/m²</p>	Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Base)
Datos de curva:N/A		

CARGAS Y SUJECIONES

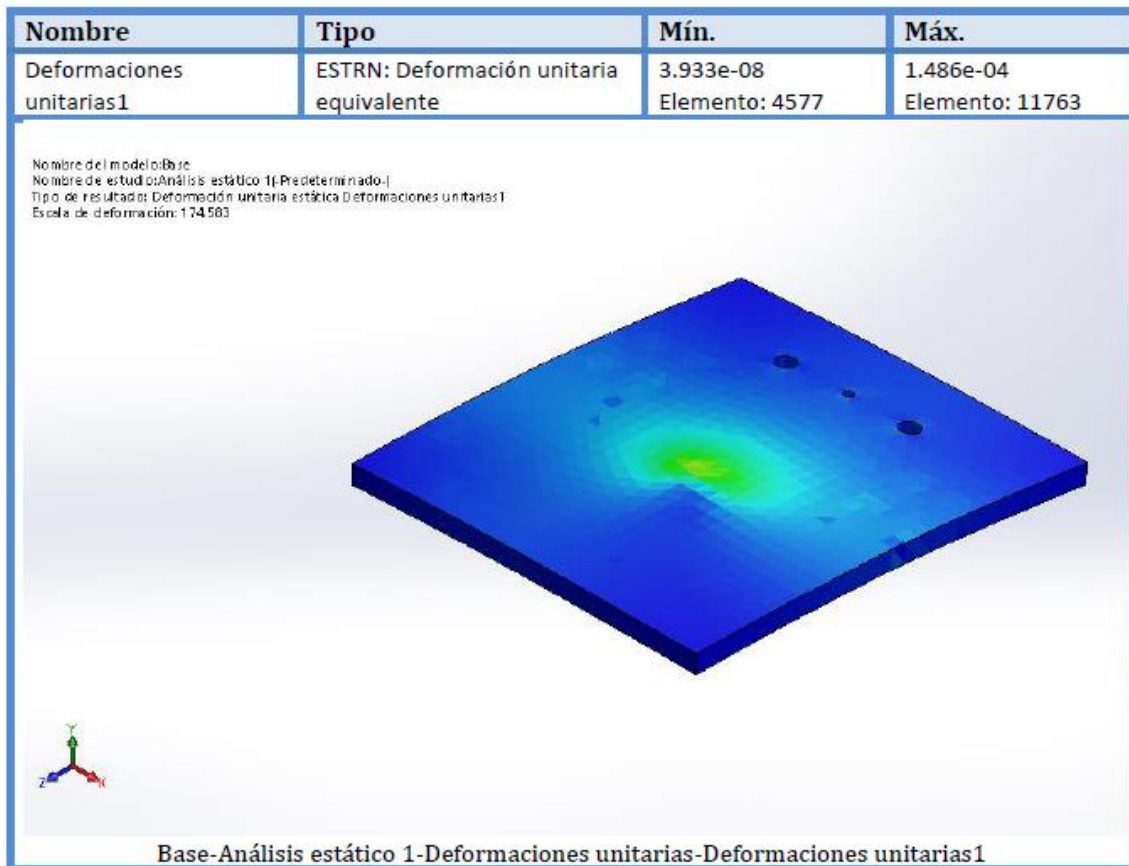
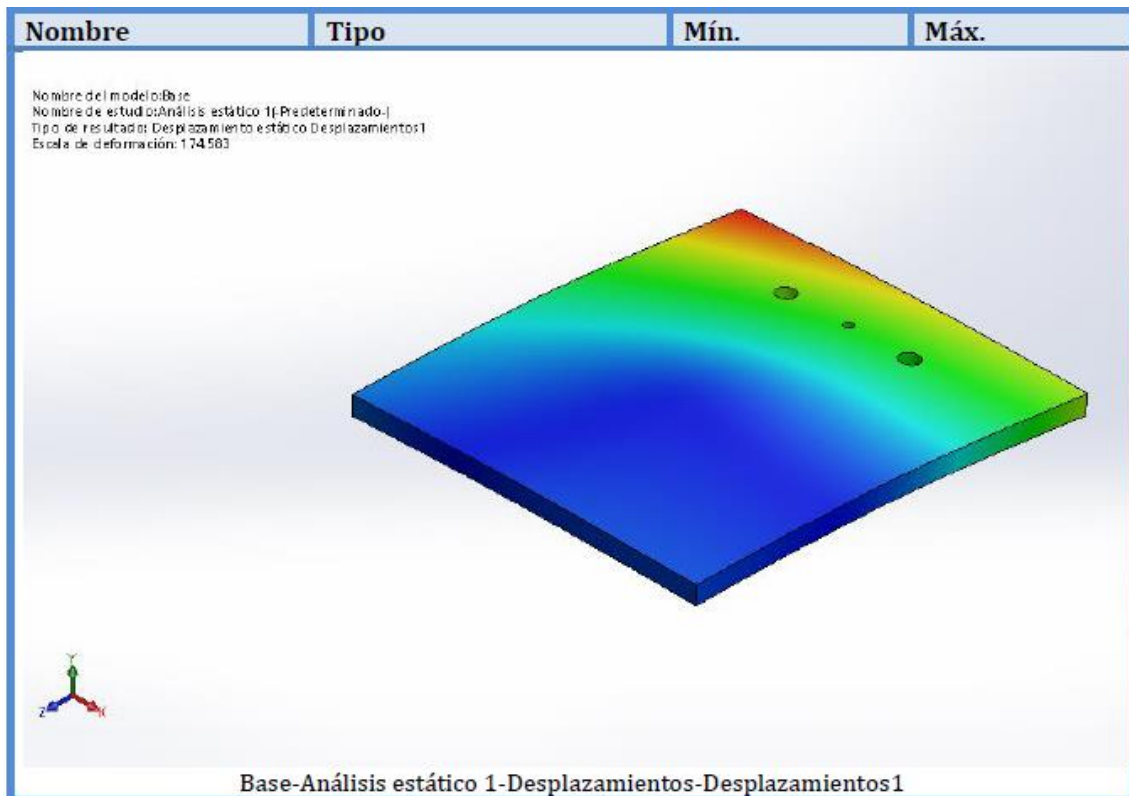
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>	
Fuerzas resultantes			
Componentes	X	Y	Z
Fuerza de reacción(N)	5.02914e-08	12	-9.68575e-08
Momento de reacción(N.m)	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 12 N</p>

Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 273	1.003e-01 mm Nodo: 1564





Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

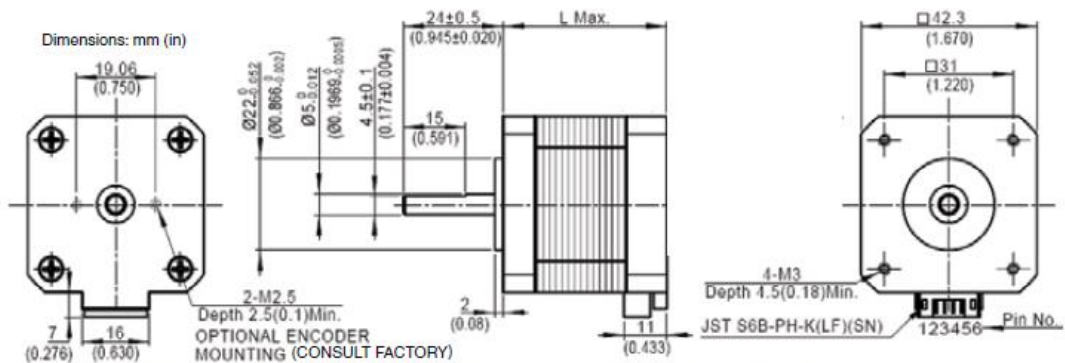


Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push 65 N (15 lbs.) Pull
Radial	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

Standard shaft motor shown.

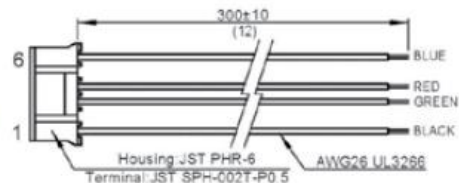
Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque		Winding Ohms mH		Detent Torque		Rotor Inertia		Motor Weight	
			Nm Typ.	oz-in Typ.	±10% @ 20°C Typ.	mNm	oz-in	g cm ²	oz-in ²	kg	lbs	
(Stack)	"L" Max	Amps										
Single	39.8 mm (1.57 in)	2	0.48	68	1.04	2.2	15	2.1	57	0.31	0.28	0.62
Double	48.3 mm (1.90 in)	2	0.63	89	1.3	2.9	25	3.5	82	0.45	0.36	0.79
Triple	62.8 mm (2.47 in)	2	0.83	120	1.49	3.8	30	4.2	123	0.67	0.6	1.3

*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.



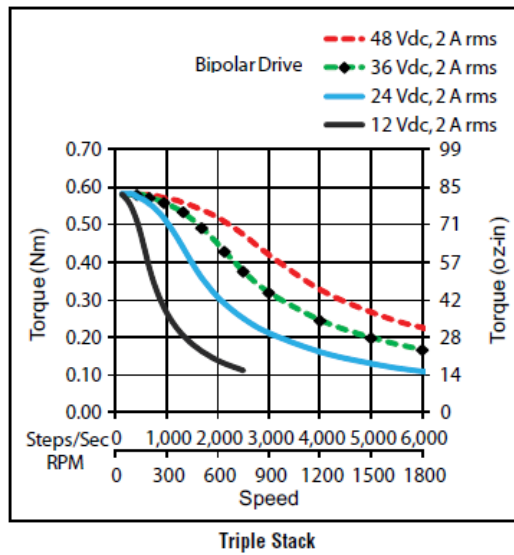
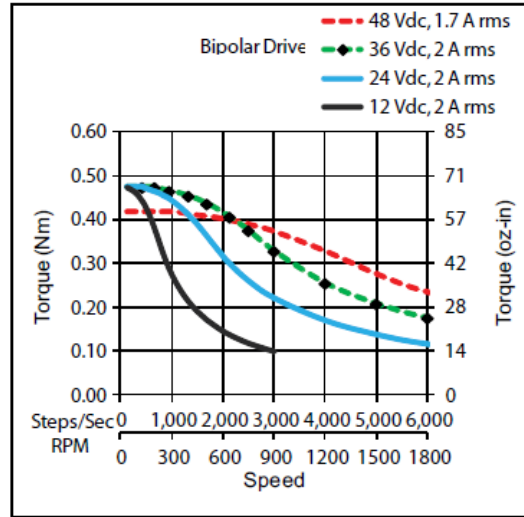
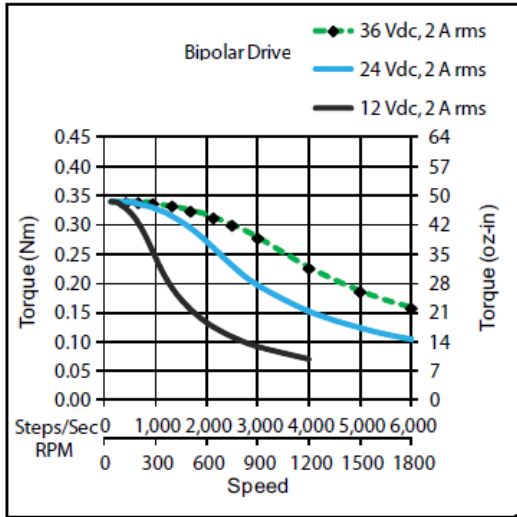
Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.

Dimensions: mm (in)
4 Lead Connector, PBC Part#6200490
(Consult factory for optional motor connectors)



NEMA 17 Stepper Motor

*Performance curves apply to continuous duty cycles.
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.



ANEXO D. PROGRAMACIÓN ARDUINO UNO

```
const int stepX = 2;
const int dirX = 5;

const int stepY = 3;
const int dirY = 6;

const int enPin = 8;

const int moneda = 7;

int val = 0;
int var1;
int cont=0;

void setup() {

Serial.begin(9600);

pinMode(stepX,OUTPUT);
pinMode(dirX,OUTPUT);

pinMode(stepY,OUTPUT);
pinMode(dirY,OUTPUT);

pinMode(enPin,OUTPUT);
pinMode(moneda,INPUT);

digitalWrite(enPin,LOW);

}

void loop() {

val= digitalRead(moneda);

if (val == HIGH){
  cont++;
  Serial.println(cont);
  delay(1000);
}
if (cont > 3 || cont == 4){
  cont=0;
}

if (Serial.available()) {
  var1=Serial.read();

if (var1 == 'a' && cont == 1){
  cont=0;
  digitalWrite(dirX,LOW);
```

```

for(int x = 0; x < 32765; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
for(int x = 0; x < 8000; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirY,LOW);
for(int x = 0; x < 800; x++) {

    digitalWrite(stepY,HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepY,LOW);
    delayMicroseconds(1000);
}
delay(10000);

digitalWrite(dirY,HIGH);
for(int x = 0; x < 800; x++) {
    digitalWrite(stepY,HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepY,LOW);
    delayMicroseconds(1000);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirX,HIGH);
for(int x = 0; x < 32765; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
for(int x = 0; x < 8000; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);
}

if (var1 == 'g' && cont == 2){

```

```
cont=0;
digitalWrite(dirX,LOW);
for(int x = 0; x < 32765; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
for(int x = 0; x < 8000; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirY,LOW);
for(int x = 0; x < 800; x++) {

    digitalWrite(stepY,HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepY,LOW);
    delayMicroseconds(1000);
}
delay(10000);

digitalWrite(dirY,HIGH);
for(int x = 0; x < 800; x++) {
    digitalWrite(stepY,HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepY,LOW);
    delayMicroseconds(1000);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirX,HIGH);
for(int x = 0; x < 20900; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirY,LOW);
for(int x = 0; x < 800; x++) {

    digitalWrite(stepY,HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepY,LOW);
    delayMicroseconds(1000);
```

```

}
delay(10000);

digitalWrite(dirY,HIGH);
for(int x = 0; x < 800; x++) {
  digitalWrite(stepY,HIGH);
  delayMicroseconds(1000);
  digitalWrite(stepY,LOW);
  delayMicroseconds(1000);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirX,HIGH);

for(int x = 0; x < 19800; x++) {

  digitalWrite(stepX,HIGH);
  delayMicroseconds(500);
  digitalWrite(stepX,LOW);
  delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);
}

if (var1 == 'm' && cont == 3){
  cont=0;
  digitalWrite(dirX,LOW);
  for(int x = 0; x < 32765; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }
  for(int x = 0; x < 8000; x++) {

    digitalWrite(stepX,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepX,LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }
  delay(1000);

  digitalWrite(dirY,LOW);
  for(int x = 0; x < 800; x++) {

    digitalWrite(stepY,HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepY,LOW);
    delayMicroseconds(1000);
  }
  delay(10000);

  digitalWrite(dirY,HIGH);
  for(int x = 0; x < 800; x++) {

```

```

digitalWrite(stepY,HIGH);
delayMicroseconds(1000);
digitalWrite(stepY,LOW);
delayMicroseconds(1000);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirX,HIGH);
for(int x = 0; x < 20900; x++) {

digitalWrite(stepX,HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(stepX,LOW);
delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirY,LOW);
for(int x = 0; x < 800; x++) {

digitalWrite(stepY,HIGH);
delayMicroseconds(1000);
digitalWrite(stepY,LOW);
delayMicroseconds(1000);
}
delay(10000);

digitalWrite(dirY,HIGH);
for(int x = 0; x < 800; x++) {
digitalWrite(stepY,HIGH);
delayMicroseconds(1000);
digitalWrite(stepY,LOW);
delayMicroseconds(1000);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirX,HIGH);

for(int x = 0; x < 19800; x++) {

digitalWrite(stepX,HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(stepX,LOW);
delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

digitalWrite(dirY,LOW);
for(int x = 0; x < 800; x++) {

digitalWrite(stepY,HIGH);
delayMicroseconds(1000);
digitalWrite(stepY,LOW);
delayMicroseconds(1000);
}
}

```



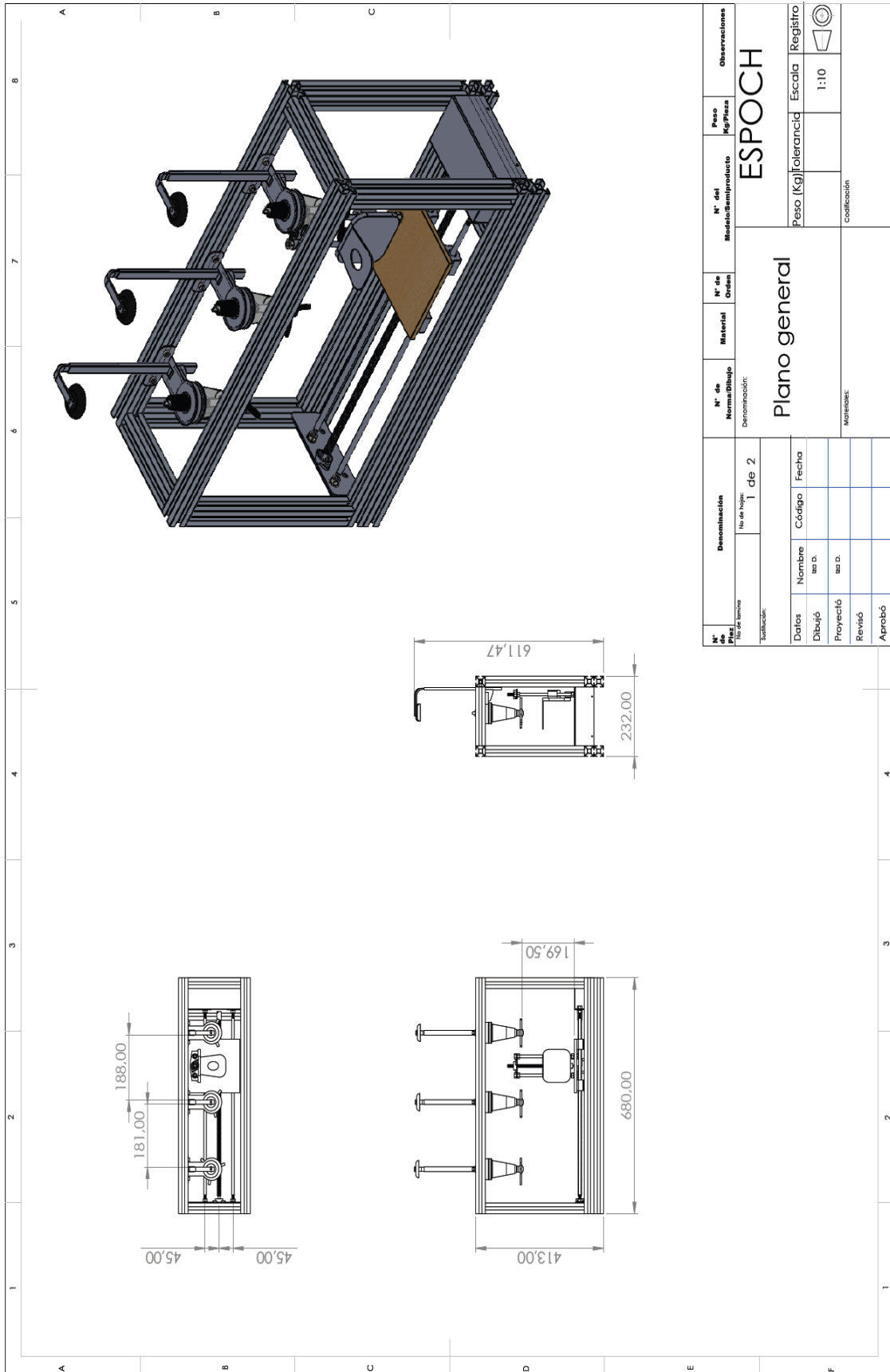
```
delay(10000);

digitalWrite(dirY,HIGH);
for(int x = 0; x < 800; x++) {
  digitalWrite(stepY,HIGH);
  delayMicroseconds(1000);
  digitalWrite(stepY,LOW);
  delayMicroseconds(1000);
}
delay(1000);

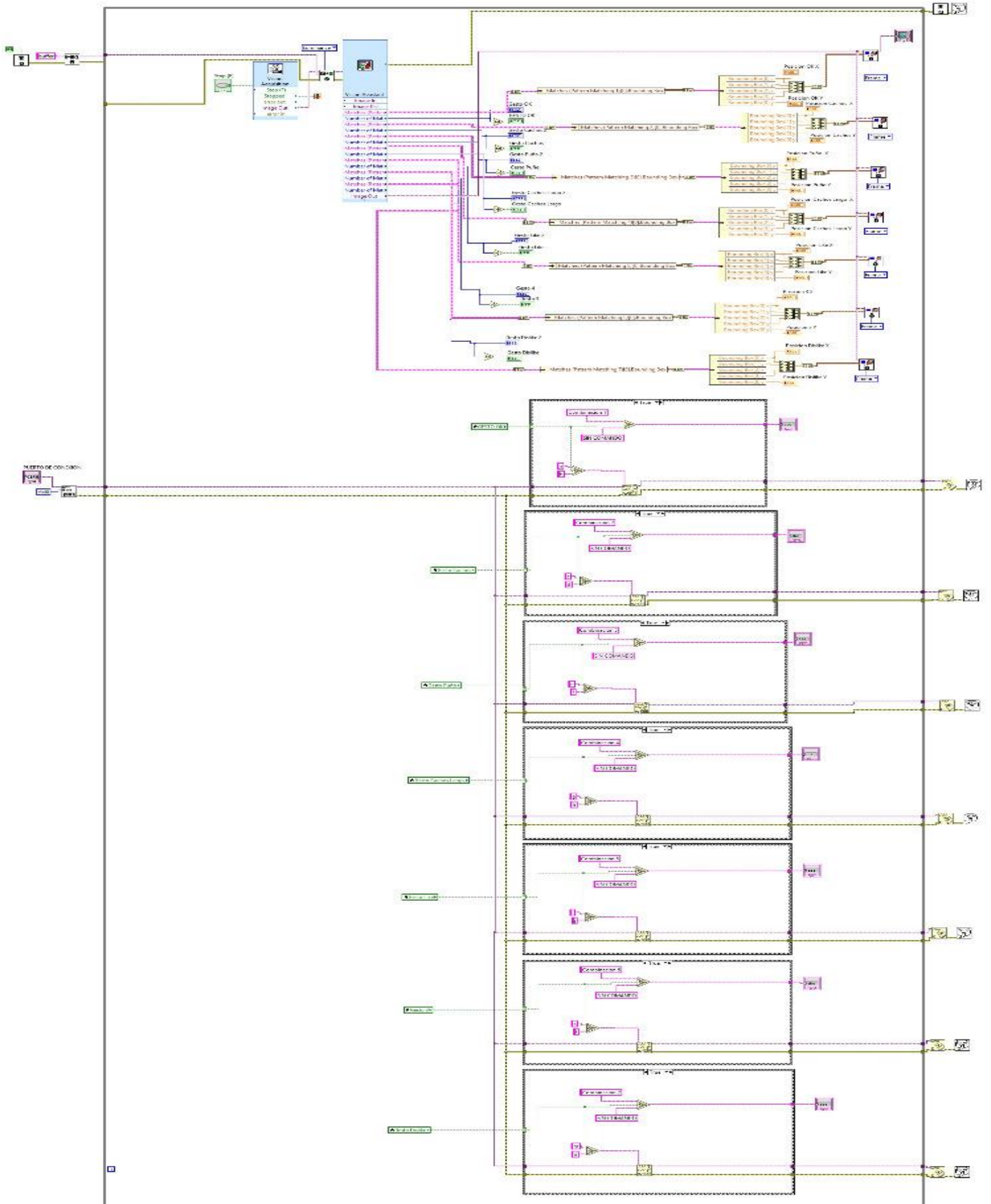
}

}
```

ANEXO E. PLANO CON LISTADO DE PIEZAS

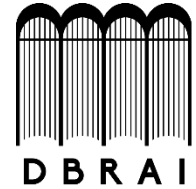


ANEXO F. PROGRAMACIÓN COMPLETA LABVIEW (Imprimir formato A3)





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 11 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Darío Xavier Iza Cofre
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales
Título a optar: Ingeniero en Electrónica, Control y Redes Industriales
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas
 Firmado electrónicamente por: JHONATAN RODRIGO PARRENO UQUILLAS
 03-12-2020 0425-DBRAI-UPT-2020