



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA
Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE BEBIDAS PARA LA
EMPRESA COMPUENGINE CIA. LTDA.**

**AUTORES: ESPINOZA CASTRO, DANNY ALBERTO
SALAZAR VACA, MARÍA GABRIELA**

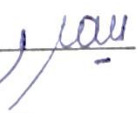
DIRECTOR: ING. TERNEUS PAEZ, CARLOS FRANCISCO

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certifico que el presente proyecto titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE BEBIDAS PARA LA EMPRESA COMPUENGINE CIA. LTDA.” fue desarrollado en su totalidad por Danny Alberto Espinoza Castro y María Gabriela Salazar Vaca, bajo mi dirección.



Ing. Francisco Terneus

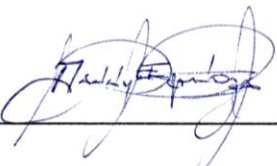
DIRECTOR

Sangolquí, septiembre del 2015

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE BEBIDAS PARA LA EMPRESA COMPUENGINE CIA. LTDA”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas a pie de página y como fuentes en el registro bibliográfico.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.



Danny Alberto Espinoza Castro



María Gabriela Salazar Vaca

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Danny Alberto Espinoza Castro y María Gabriela Salazar Vaca, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE BEBIDAS PARA LA EMPRESA COMPUENGINE CIA. LTDA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



Danny Alberto Espinoza Castro



María Gabriela Salazar Vaca

Sangolquí, septiembre del 2015

DEDICATORIA

Dylan, te dedico este proyecto como cada éxito que he cumplido en mi vida desde que te tengo a mi lado, tú eres mi inspiración para seguir adelante, tú eres la razón para cumplir cada sueño, tú haces que todos mis propósitos tengan un camino sin dificultades y sean fáciles de alcanzar, por eso este gran paso que culmino hoy es dedicado a ti y a tu felicidad, Te amo hijo.

Danny.

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi esposo y a mi hijo, quienes por ellos tengo una razón más para ser mejor persona, profesional, madre y esposa. Cada paso que doy es por y para ellos, son mi presente y mi futuro. Los amo.

Gaby.

AGRADECIMIENTO

A mi amada esposa, porque ninguna meta es imposible de lograr mientras me acompañes en este camino.

A mis padres Daniel y Elisa, quienes me han formado con carácter fuerte para enfrentar todas las adversidades que se me han presentado en la vida.

A mis hermanos Carlos y Emily porque me han motivado a sonreír a pesar de cualquier circunstancia.

A mis ñaños, especialmente a Rowland, Frank y Juan que me han acompañado siempre que los necesito durante muchos años.

A todos mis nuevos amigos, sobre todo a Efren, quien me ha ayudado a ser quien soy profesionalmente a pesar de lo poco que me conoce y siempre está dispuesto a entregarme un sabio consejo.

A Compuengine Cía. Ltda. quienes nos han dado la oportunidad de crear este innovativo proyecto.

Al director, Ing. Francisco Terneus quien nos ha brindado el apoyo y guía necesarios para culminar este proyecto.

Mil gracias,

Danny.

AGRADECIMIENTO

A mi amado esposo, que con amor, paciencia y tierna mirada me demuestra que somos el uno para el otro, y juntos no tenemos límites.

A mi pequeño hijo, ya que con sus besos y abrazos me ha iluminado la existencia, eres mi razón de vivir.

A mi madre, por darme su apoyo y amor incondicional toda mi vida y por creer siempre en mí, me ha dado fuerza para ser mejor.

A mi padre, ya que por él puedo ser la persona que soy ahora, me has dado el impulso para superarme cada vez más.

A mis hermanos, José Julián y Juan Carlos por llenarme de sonrisas y hacerme la vida más feliz y única.

A mi abuelita, Yoyo, que siempre ha estado pendiente de mí y me llena de bendiciones todos los días.

A mis suegros, Daniel y Elisa porque siempre han estado pendientes de nosotros y con su ayuda hemos podido salir adelante.

A mis tíos, Susy, Eduardo, Pato e Iván, por alentarme a seguir luchando para avanzar en la vida. Somos una gran familia.

A todos los quiero, los amo y los llevo en mi corazón, siempre.

Gaby.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
OBJETIVOS	xix
OBJETIVO GENERAL.....	xix
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	xix
JUSTIFICACIÓN	xx
ALCANCE.....	xxi
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Bombas dosificadoras	1
1.1.1. Descripción	1

1.1.2.	Aplicaciones.....	1
1.1.3.	Componentes	2
1.1.4.	Parámetros de selección.....	2
1.1.5.	Bombas peristálticas	3
1.2.	Elementos mecánicos flexibles	5
1.2.1.	Bandas.....	5
1.2.2.	Bandas de sincronización.....	6
1.2.3.	Transmisión de banda de sincronización.....	7
1.3.	Rodamientos.....	8
1.3.1.	Ventajas	8
1.3.2.	Partes de un rodamiento.....	8
1.3.3.	Clasificación de los rodamientos	9
1.4.	Instrumentación y automatización	10
1.4.1.	Arduino	10
1.4.2.	Pantalla táctil 4D SYSTEMS	11
CAPÍTULO 2.....		12
2. DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE BEBIDAS.....		12
2.1.	Introducción	12
2.2.	Diseño de hardware.....	12
2.2.1.	Requisitos para el diseño	12

2.2.2.	Selección de dosificador	14
2.2.3.	Diseño de la estructura base.....	27
2.2.4.	Diseño de sistema de movimiento lineal	30
2.3.	Diseño de software.....	38
2.3.1.	Software de comunicación.....	38
2.3.2.	Software de control de bombas peristálticas.....	41
2.3.3.	Software de control de motor a pasos	41
2.3.4.	Software de interfaz humano-máquina	42
2.4.	Desarrollo integral.....	45
2.4.1.	Conformación de sistema mecánico	45
2.4.2.	Conformación de sistema electrónico.....	47
CAPÍTULO 3		50
3.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	50
3.1.	Desarrollo de pruebas.....	50
3.2.	Pruebas del sistema de dosificación.....	50
3.2.1.	Pruebas unitarias	50
3.2.2.	Pruebas de integración	51
3.2.3.	Pruebas de funcionalidad	51
3.2.4.	Pruebas de conjunto	51
3.3.	Resultados de sistema de dosificación	52

3.3.1.	Pruebas unitarias	52
3.3.2.	Pruebas de integración	54
3.3.3.	Pruebas de funcionalidad	56
3.3.4.	Pruebas de conjunto	57
3.4.	Análisis de resultados	58
3.4.1.	Pruebas unitarias	58
3.4.2.	Pruebas de integración	58
3.4.3.	Pruebas de funcionalidad	59
CAPÍTULO 4		61
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1.	Conclusiones	61
4.2.	Recomendaciones	62
BIBLIOGRAFÍA		63
ANEXOS		65
A1: PROGRAMACIÓN DE ARDUINO MASTER		66
A2: PROGRAMACIÓN DE ARDUINOS SLAVES		67
A3: RESULTADOS DE PRUEBSA DE DOSIFICACIÓN DE BOMBAS		68
A4: PLANOS MECÁNICOS		69
A5: MANUAL DE USUARIO		70
A6: CARTA DE CONFORMIDAD		71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de tipos comunes de bandas.....	5
Tabla 2 Pasos estándares de bandas de sincronización	8
Tabla 3 Tabla de especificaciones de diferentes bombas peristálticas.....	15
Tabla 4 Tabla de pesos de los criterios de funcionamiento de las bombas peristálticas.....	16
Tabla 5 Tabla de ponderación de voltaje de alimentación	17
Tabla 6 Tabla de ponderación de corriente nominal	18
Tabla 7 Tabla de ponderación de funcionamiento eléctrico	18
Tabla 8 Tabla de ponderación de tipo de comunicación con el control	19
Tabla 9 Tabla de ponderación de velocidad de dosificación	19
Tabla 10 Tabla de ponderación de velocidad del motor	20
Tabla 11 Tabla de ponderación de costo	20
Tabla 12 Tabla de ponderación de tipo de control de velocidad.....	21
Tabla 13 Tabla de ponderación de precisión de dosificación	21
Tabla 14 Tabla de ponderación de controlador para su funcionamiento	22
Tabla 15 Tabla de ponderación de diámetro del tubo interior	22
Tabla 16 Tabla de ponderación de identificación del tubo interior.....	23
Tabla 17 Tabla de ponderación de número de conexiones por motor	23
Tabla 18 Tabla de ponderación de dimensiones exteriores	24
Tabla 19 Tabla de ponderación de dispositivos adicionales necesarios.....	24

Tabla 20	Tabla de ponderación de costo de dispositivos adicionales	25
Tabla 21	Tabla de ponderación de dificultad de uso.....	25
Tabla 22	Tabla de conclusión de selección de bomba	26
Tabla 23	Tabla de propiedades del material.....	28
Tabla 24	Tabla de definición de carga	29
Tabla 25	Tabla de resultados del estudio estático	30
Tabla 26	Descripción de íconos del interfaz	45
Tabla 27	Consumo de corriente de cada uno de los elementos.....	48
Tabla 28	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a motor a pasos	52
Tabla 29	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a bombas de dosificación.....	53
Tabla 30	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a pantalla táctil.....	53
Tabla 31	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a luces led.....	54
Tabla 32	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a integración de fuente de poder y elementos electrónicos.....	55
Tabla 33	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a integración de driver de motor y motores.....	55
Tabla 34	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a integración de pantalla touch y Arduino MEGA.....	56
Tabla 35	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a funcionalidad de HMI	57
Tabla 36	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a funcionalidad de sistema de dosificación.....	57
Tabla 37	Resultados obtenidos de pruebas en conjunto del sistema.....	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bomba peristáltica rotatoria.....	3
Figura 2 Bomba peristáltica marca Gray Beard.....	4
Figura 3 Banda sncrona	6
Figura 4 Poleas dentadas o catarinas.....	7
Figura 5 Transmisión por banda de sincronización con catarina.....	7
Figura 6 Partes de un cojinete de bolas.....	9
Figura 7 Grupo de rodamientos lineales de bolas LBBR de SKF	10
Figura 8 Tarjeta Arduino Uno.....	10
Figura 9 Pantalla táctil Ulcd-70DT de 4D Systems	11
Figura 10 Dimensiones generales de la estructura base del sistema.....	27
Figura 11 Sistema de movimiento lineal diseñado	31
Figura 12 Sistema de transmisión de movimiento	31
Figura 13 Propiedades del vaso de cristal usado	34
Figura 14 Propiedades del soporte para vasos diseñado	34
Figura 15 Diagrama simplificado de acción de fuerzas en una de las guías.....	35
Figura 16 Rodamiento lineal de bolas SKF	36
Figura 17 Esquema de comunicación entre subsistemas	39
Figura 18 Conexión Master/Slave Arduino Mega y Arduino Uno.....	40
Figura 19 Conexión Master/Slave Arduino Mega y Touchscreen.....	40

Figura 20 Ventana HOME del interfaz	42
Figura 21 Ventana MENU del interfaz	43
Figura 22 Ventana de bebida a preparar	44
Figura 23 Ensamble de la máquina	46
Figura 24 Circuito fuente paralela	49
Figura 25 Modelo 3D de circuito fuente paralela	49

RESUMEN

La ingeniería mecatrónica se enfoca en proporcionar sistemas funcionales y flexibles en base al desarrollo tecnológico actual, su objetivo de esta ciencia es el de crear productos versátiles, compactos y fiables. El presente proyecto demuestra que la ingeniería mecatrónica tiene un campo amplio de acción y pueden manejarse distintas variables para crear una máquina que optimice las actividades diarias de las personas demostrando a la vez elegancia y sencillez. El sistema automático de dosificación de bebidas permite seleccionar una bebida compuesta de diferentes licores y bebidas adicionales, mezclas almacenadas en el sistema de control de la máquina. El usuario podrá seleccionar entre 24 diferentes cocteles y a partir de esto se iniciará el proceso de dosificación con el movimiento lineal de un vaso vacío a través de las diferentes posiciones donde se encuentran colocadas las diferentes botellas de licor y bebidas adicionales; luego de este movimiento se dosificará el líquido a través de bombas hidráulicas controladas de manera que se obtenga como resultado un coctel basado en recetas estándar de gastronomía.

PALABRAS CLAVES:

- **AUTOMATIZACIÓN**
- **DOSIFICACIÓN DE BEBIDAS**
- **ARDUINO**
- **BOMBAS PERISTÁLTICAS**
- **MOTOR A PASOS**

ABSTRACT

The mechatronic engineering focus on functional and flexible systems based on the development of actual technology, the objective of this science is the manufacturing of versatile, compact and reliable products. The present project shows that the mechatronic engineering has a wide action field and that it can manage different variables for the creation of a machine that optimize the regular activities of a human being and also demonstrating elegance and simplicity. The automatic beverage dispensing system allows the selection of a beverage composed of different liqueurs and additional drinks, mixtures that are stored in the control system of the machine. The user can select between 24 different cocktails and from this, the dosing process will start. This process initiate with the linear movement of an empty glass through the different positions where the bottles and beverages are placed; after this movement the liquid is dosed by the controlled hydraulic pumps, this process is based on standard cocktail recipes.

KEY WORDS:

- **AUTOMATION**
- **DOSING OF DRINKS**
- **ARDUINO**
- **PERISTALTIC PUMPS**
- **STEPPER MOTOR**

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema automático de dosificación de bebidas para la empresa Compuengine Cía. Ltda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un sistema de dosificación de bebidas estéticamente atractivo mediante el uso de herramientas de software y hardware, con el fin de definir un sistema estructural elegante y eficiente.
- Controlar las variables del sistema mediante el uso de algoritmos programados en un controlador para definir un correcto funcionamiento de la máquina.
- Desarrollar una interfaz de comunicación entre el usuario y el sistema mediante el uso de equipos programables con la finalidad de obtener un control sencillo de la máquina y sus funciones.
- Elaborar un manual de usuario utilizando herramientas de software para que el usuario conozca el correcto funcionamiento del sistema.

JUSTIFICACIÓN

El mercado ecuatoriano tecnológico está satisfecho en su mayoría por productos importados desde diferentes países. Este hecho se puede observar claramente en la industria de producción, ya que la empresa Compuengine Cía. Ltda. ha distribuido e instalado diferentes equipos adquiridos en el extranjero en industrias como Acerías Nacionales del Ecuador, Novacero, Lafabril, Petroecuador, ECTV Televisión Pública, Continental Tires, e instituciones educativas privadas y públicas. Como se observa, existen diferentes mercados y áreas donde las necesidades son diversas, exigentes e ilimitadas.

Compuengine Cía. Ltda. tiene el ideal de fortalecer el desarrollo tecnológico de nuestro país, diseñando y construyendo nuevos productos capaces de competir con los equipos importados, y que a la vez sean novedosos y atractivos para mercados que no sean industriales, sino otros campos en los que la tecnología puede causar un gran impacto e impresión en la sociedad, así, dando a conocer la capacidad intelectual de la nueva ingeniería formada en el Ecuador.

Existen diferentes áreas en las cuales se pueden introducir tecnologías como productos novedosos. El mercado del entretenimiento también puede ser explotado con productos innovadores que causen interés en el emprendimiento. El sistema automático de dosificación de bebidas, proyecto a realizarse con la presente tesis, nos dará la oportunidad de observar y evaluar el impacto social que tiene el ingreso de nuevos productos tecnológicos que se desarrollen en el país con el apoyo de equipos de mecanizado con tecnología de punta.

La empresa Compuengine Cía. Ltda. patrocinadora del proyecto, ve necesario la creación de esta tesis, para crear una máquina funcional que se convierta en la base de una nueva serie de productos innovadores desarrollados en Ecuador con las tecnologías existentes en nuestro medio, y adentrarse de esta forma a nuevos mercados donde los avances tecnológicos puedan causar una fuerte impresión promoviendo el desarrollo y emprendimiento de innovaciones para la sociedad.

ALCANCE

El equipo de sistema de dosificación de bebidas estará constituido por una estructura de acrílico altamente estética con conectores de acero inoxidable para resguardar los componentes electrónicos y actuadores de la máquina.

Contará con una interfaz HMI para que el usuario pueda acceder al menú de bebidas y escoger de acuerdo a su gusto la bebida a preparar por la máquina. Los licores que estarán a disposición para la elaboración de los cocteles son:

- Gin
- Ron
- Tequila
- Vodka
- Whisky

Los cuales se combinarán además con bebidas adicionales como:

- Cola Blanca
- Jugo de naranja
- Jugo de limón
- Agua tónica

Para así obtener un menú con 24 opciones para el deleite del usuario. Al momento de escoger la bebida a preparar, la máquina accionará el mecanismo de movimiento del vaso para posicionarlo debajo de los dispensadores de cada bebida que comprenda la mezcla. Una vez finalizada la preparación, la máquina alertará al usuario para retirar su bebida y agregar ingredientes adicionales a su gusto.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Bombas dosificadoras

1.1.1. Descripción

Este tipo de bombas permite transferir un determinado volumen de fluido con una velocidad específica a un proceso o sistema, las cuales sirven para dispensar, transferir o proporcionar fluidos. Son utilizadas en el campo industrial, médico e instrumentación analítica. Las bombas dosificadoras confieren energía al fluido mediante pulsos a una velocidad determinada y generan la presión suficiente para inyectar el fluido en el proceso. Idealmente, estas bombas pueden trabajar una gran gama de fluidos incluyendo tóxicos, corrosivos, peligrosos, volátiles y abrasivos. (Spellman, 2009)

1.1.2. Aplicaciones

Esta bomba está destinada para transferir, dispensar o proporcionar un fluido, por ello la industria química la utiliza en una gran diversidad de aplicaciones, pero además se la emplea en las siguientes ramas:

- Industrial.
 - Tratamiento de agua y aguas residuales. Adición de agentes desinfectantes, pH, control y acondicionamiento.
 - Rociadores para agricultura, quimigación y control de mosquitos.
 - Instrumentación y procesos químicos. Aditivos, pintura, pigmentos, etc.
- Médico.
 - Equipo de diálisis

- Equipo de diagnóstico
- Fabricación de lentes de contacto
- Kits desechables

1.1.3. Componentes

Los componentes de estas bombas son:

- Fuente de alimentación de la bomba (motor eléctrico, cilindros neumáticos, etc.).
- Conversión de energía o unidad de mecanismos, transforman la energía suministrada en el movimiento que necesita la bomba ya sean estos movimientos reciprocantes o rotacionales.
- Mecanismo de bombeo, está en contacto con el fluido.

1.1.4. Parámetros de selección

Los parámetros de selección de una bomba dosificadora son:

- Volumen. Velocidad de flujo o volumen a dispensar.
- Presión. Presión de operación, del sistema, presión diferencial.
- Temperatura. Temperatura del proceso, del ambiente, etc.
- Limpieza de tubería. Tamaño de conexión, material.
- Control de flujo. Variable, reversible.

Además el usuario debe especificar las características del fluido, compatibilidad química, viscosidad, sólidos suspendidos, tamaño, precio, etc.

1.1.5. Bombas peristálticas

Es un tipo de bomba dosificadora la cual cuenta con la acción peristáltica basada en el funcionamiento de los intestinos en donde las contracciones sucesivas de la pared muscular permiten mover su contenido hacia adelante. La bomba peristáltica cuenta con rodillos que presionan de manera intermitente la línea de alimentación de manera que el fluido es empujado a través del tubo, el cual está hecho de un material con suficiente resistencia a la deformación.

Se debe considerar que las bombas peristálticas pueden suministrar solamente baja velocidad de flujo y baja presión. Debido a esto, han tenido gran aceptación en el campo médico. Existen dos tipos de bombas peristálticas, las rotatorias, donde los rodillos se encuentran alrededor de un eje central giratorio; y las lineales donde el tubo es presionado por una serie de dientes en sucesión cíclica.

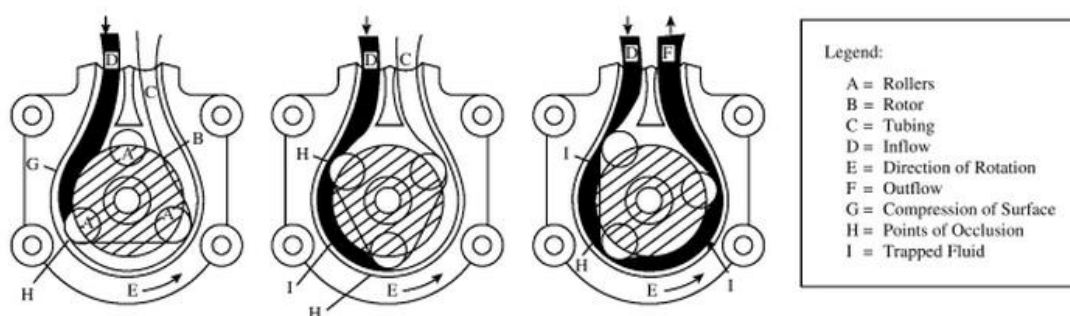


Figura 1 Bomba peristáltica rotatoria (Masterflex es una marca registrada de Cole-Parmer Instrument Co.)

Fuente: (Spellman, 2009)

Las bombas peristálticas suelen tener mayor precisión que los controladores pero debido a que las presiones y el rozamiento a que se ve sometido la línea provocan su deformación, se incrementa la flexibilidad y el tamaño del tubo. Estas bombas tienen una precisión de 5-10%. La velocidad de flujo de la bomba puede ser ajustable al cambiar la velocidad del eje central rotatorio o al cambiar el tamaño del tubo, siendo la velocidad de flujo proporcional a la velocidad de rotación. Comúnmente los que proveen de energía a estas bombas son motores eléctricos de 50/60 Hz, 100/110 V.



Figura 2 Bomba peristáltica marca Gray Beard

Fuente: *(Grey Beard Pumps, 2015)*

Las ventajas que tienen las bombas peristálticas son las siguientes:

- Eficiencia
- Manejo de fluidos viscosos
- Versatilidad en presión
- Autocebante
- Bidireccionales, revirtiendo la dirección de rotación del motor.
- Mantenibilidad de flujo ya que produce en el líquido un flujo constante a pesar de las propiedades del fluido.
- Capacidad de medición, se pueden usar como dispositivos de medición de forma simple y conveniente.
- La manguera plástica o tubo es un contenedor de fluido reemplazable, fácil de limpiar, higiénico y hermético ya que éste es el único componente que está en contacto directo con el fluido.

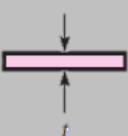
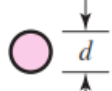
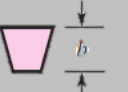
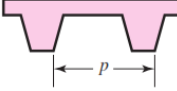
1.2. Elementos mecánicos flexibles

Los elementos mecánicos flexibles como bandas, cadenas, etc., se utilizan en los sistemas de transporte y para transmitir potencia a grandes distancias. Con la ayuda de estos elementos se puede simplificar el diseño mecánico y bajar su costo en vez de utilizar dispositivos de transmisión de potencia rígidos (ejes, cojinetes, engranes, etc.). Debido a su flexibilidad, estos elementos absorben las cargas de impacto y los efectos de las vibraciones permitiendo tener a la máquina un ciclo de vida mayor. Los elementos flexibles al no tener vida infinita se debe tener una inspección periódica de los mismos, y éstos deben ser reemplazados a la primera señal de deterioro.

1.2.1. Bandas

Las bandas además de las cadenas, son los elementos flexibles principales para la transmisión de potencia. Son de cuatro tipos principales entre las cuales están la banda plana que utiliza poleas abombadas; la banda redonda y tipo V que utilizan poleas ranuradas o acanaladas y la banda de sincronización que emplea ruedas dentadas o catarinas. Para su perfecto funcionamiento, los ejes de las poleas o ruedas deben estar a una distancia mínima dependiendo del tipo de banda.

Tabla 1
Características de tipos comunes de bandas

Tipo de banda	Figura	Unión	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Si	$t=0.75$ a 5 mm	No hay límite superior
Redonda		Si	$d=1/8$ a $3/4$ pulg.	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b=8$ a 19 mm	Limitada
De sincronización		ninguna	$p=2$ mm y mayor	Limitada

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2011)

1.2.2. Bandas de sincronización

Este tipo de banda está hecha con tela de caucho y alambre de acero para resistir la carga de tensión, además se fabrica con dientes transversales a la cara inferior de la banda los cuales se engranan en las ranuras de las poleas dentadas o catarinas para la impulsión y generar el movimiento. Tiene las siguientes ventajas:

- No se necesita tensión inicial
- No hay restricción de velocidades
- Su eficiencia está en el intervalo del 97% a 99%
- No requiere lubricación
- Silenciosas en comparación con las transmisiones de cadena
- Útiles en aplicaciones de transmisión de precisión

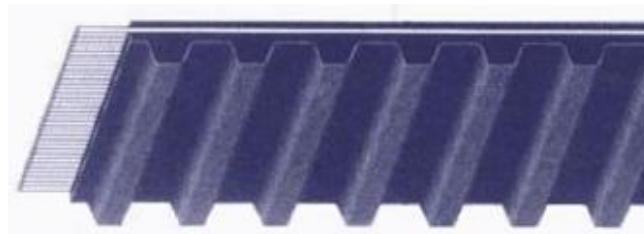


Figura 3 Banda síncrona

Fuente: (Dinámica Distribuciones S.A., 2010)

Las desventajas son:

- Costo de la banda
- Se deben utilizar ruedas ranuradas en el sentido transversal
- Fluctuaciones dinámicas concurrentes



Figura 4 Poleas dentadas o catarinas

Fuente: (*Direct Industry, 2015*)

1.2.3. Transmisión de banda de sincronización

Existe una relación constante entre la velocidad de la catarina motriz y de la conducida, por esta razón se la conoce como banda de sincronización. Este tipo de bandas es precisa para el buen funcionamiento de sistemas de impresión, manejo de materiales, empaque y ensamble. Las bandas síncronas transmiten una relación constante de velocidad angular ya que por ser dentada no se estira ni se desliza.

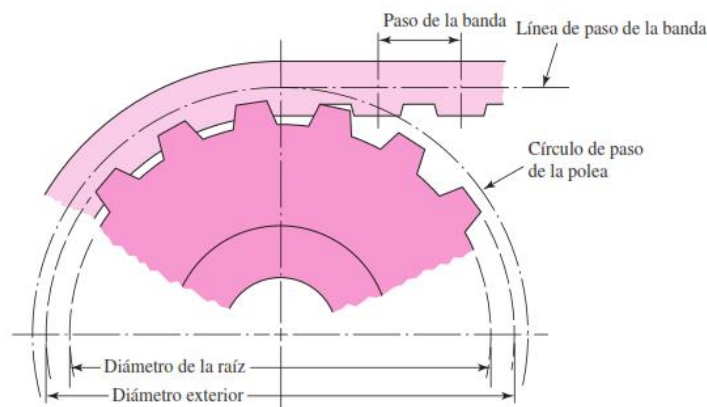


Figura 5 Transmisión por banda de sincronización con catarina

Fuente: (*Budynas & Nisbett, 2011*)

Los pasos estándares de las bandas síncronas son los siguientes y cuentan con designación en letras.

Tabla 2
Pasos estándares de bandas de sincronización

Servicio	Designación	Paso p, pulg
Extraligero	XL	1/5
Ligero	L	3/8
Pesado	H	1/2
Extrapesado	XH	7/8
Doble extrapesado	XXH	1 1/4

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2011)

1.3. Rodamientos

También denominados cojinetes antifricción, son una clase de apoyo o soporte de ejes, constan de dos aros concéntricos con caminos de rodadura, en la mayoría de los casos esféricos, sobre los que se desplazan unos cuerpos rodantes, bolas o rodillos, cuya finalidad es el permitir la movilidad de la parte giratoria respecto de la fija. (Marín, 2008)

1.3.1. Ventajas

- Rozamiento insignificante.
- Gran capacidad de carga.
- Desgaste mínimo durante el funcionamiento.
- Facilidad de recambio al ser elementos normalizados.

1.3.2. Partes de un rodamiento

El rodamiento tiene las siguientes partes:

- Aro exterior
- Aro interior
- Cuerpos rodantes

- Jaula

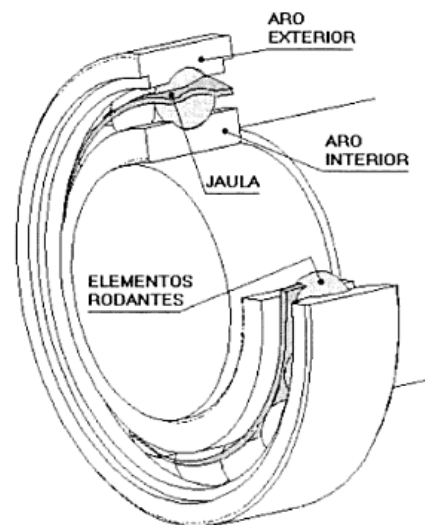


Figura 6 Partes de un cojinete de bolas

Fuente: (Cortizo Rodríguez, 2004)

1.3.3. Clasificación de los rodamientos

Los rodamientos se dividen en dos grupos principales:

- Rodamientos de bolas. Se clasifican de acuerdo al tipo de anillo:
 - Rígidos de bolas
 - De magneto
- Rodamientos de rodillos. Se clasifican de acuerdo al tipo de rodillo:
 - Cilíndrico
 - De agujas
 - Cónicos
 - Esféricos



Figura 7 Grupo de rodamientos lineales de bolas LBBR de SKF

Fuente: (SKF, 2015)

1.4. Instrumentación y automatización

1.4.1. Arduino

Es una plataforma electrónica de código abierto basada en un hardware y software de fácil manejo para realizar diferentes tipos de proyectos. Básicamente integra un microcontrolador y un conjunto de pines de conexión de entradas y salidas que permiten, mediante determinado programa, interactuar con el medio físico mediante sensores y actuadores electrónicos. Al combinar esta tarjeta con diferentes tipos de sensores que detecten señales del medio, se pueden accionar diferentes tipos de actuadores para crear un sin número de proyectos.

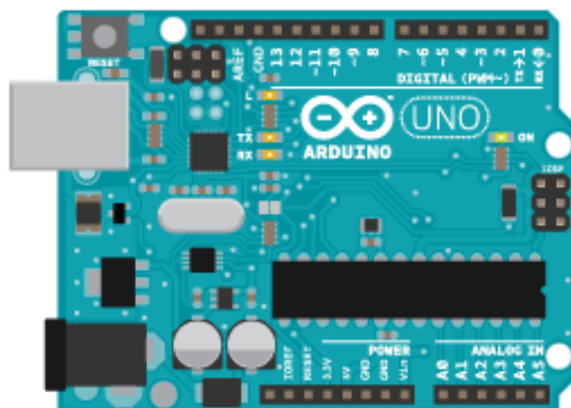


Figura 8 Tarjeta Arduino Uno

Fuente: (ARDUINO, 2015)

1.4.2. Pantalla táctil 4D SYSTEMS

El uLCD-70DT está diseñado para aplicaciones que exigen un gran módulo de pantalla inteligente. El procesador de la pantalla es el DIABLO16, un chip muy capaz y potente que permite funcionalidad independiente, mediante la programación en el IDE Software Sistemas 4D Taller 4, permite soluciones gráficas para ser construidos rápidamente y con facilidad.

El módulo de visualización tiene una serie de características que incluyen PWM para sonido, detección táctil, almacenamiento de memoria micro-SD, de uso general de E / S incluyendo entradas analógicas, múltiples de serie TTL, I² C y SPI canales y varios temporizadores resolución de milisegundos, entre muchos más Características. (4D Systems, 2014).



Figura 9 Pantalla táctil Ulcd-70DT de 4D Systems

Fuente: (4D Systems, 2014)

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE BEBIDAS

2.1. Introducción

En el presente capítulo se fundamenta el diseño de los diferentes elementos a considerarse para la construcción del sistema. Se especifican dos grandes divisiones que abarcan el diseño de los componentes de hardware y software implementados, de manera que en su asociación permitan un funcionamiento adecuado del sistema.

2.2. Diseño de hardware

El Hardware que compone la máquina desarrollada está compuesto de varios conjuntos de elementos que tienen diferentes aplicaciones para la máquina. Como parte estructural, se encuentran las paredes base, elementos de conexión entre las mismas, y elementos de soporte de los diferentes dispositivos electrónicos y botellas, esto representa el armazón del sistema.

Como parte cinemática, existe un soporte donde se apoya el vaso de coctel, elementos de transmisión de potencia, ejes guías del movimiento lineal, y un motor a pasos, esto determina el movimiento longitudinal mediante el cual se desplazará el vaso para la dosificación de las diferentes bebidas. Como parte de proceso, existen las diferentes bombas peristálticas que permiten la dosificación de líquidos al vaso. Como parte de control existe una pantalla táctil donde se instalará la interfaz humano-máquina, los diferentes controladores programables.

2.2.1. Requisitos para el diseño

Existen características de la máquina que la empresa patrocinadora ha impuesto como condiciones de diseño. Estos requerimientos permitirán la selección de los diferentes componentes de hardware necesarios para el funcionamiento óptimo del sistema. A continuación se detallan los requerimientos establecidos tanto de la empresa, como de los autores de la presente tesis:

- El sistema deberá tener una apariencia agradable para el usuario, para esto se diseñará de la manera más estética como sea posible.
- El tamaño del sistema no es de importancia, sin embargo se tratará de manejar dimensiones limitadas al espacio entre bombas peristálticas y elementos de almacenamiento de líquidos.
- El proceso de dosificación se realizará mediante el movimiento de un soporte de vaso a través de una trayectoria recta, existen a través de esta línea diferentes puntos en los cuales el soporte se detendrá permitiendo la dosificación de los diferentes líquidos según la posición específica.
- La elección de la bebida a preparar, se realizará a través de un sistema HMI integrado en una pantalla táctil lo suficientemente grande como para que el usuario pueda entender claramente lo que la interfaz comunique.
- Existirán cinco botellas de diferentes tipos de bebidas alcohólicas, y cuatro recipientes que contendrán bebidas no alcohólicas. La combinación de dosis controladas de las diferentes bebidas, permitirán la creación de cocteles preestablecidos en el código de programación.
- El proceso de dosificación deberá tener gran precisión, de manera que los cocteles no se vean afectados dependiendo de la altura del líquido.
- La compañía es proveedora de controladores Arduino, de preferencia se utilizarán estos como elementos de control del sistema.
- Como componentes que aumenten la estética del sistema, se utilizarán luces de tecnología LED, mismas que puedan ser controladas para emitir luz de diferentes colores y según patrones preestablecidos.

El soporte para vasos que se mueve linealmente, debe hacerlo a una velocidad adecuada de manera que el tiempo de proceso de bebidas sea mínimo.

2.2.2. Selección de dosificador

Bombas peristálticas se han seleccionado como método de dosificación debido a la precisión que se puede manejar con ellas y su disposición para trabajo en seco, lo cual es un factor importante si se considera que las botellas contenedoras de líquido se cambiarán de forma constante. El proceso de selección de la bomba peristáltica se ha realizado mediante el uso de matrices de selección. La tabla 3, corresponde a la organización de especificaciones de cada una de las bombas donde se detallan las características técnicas de importancia para el diseño. La tabla 4 corresponde a la valoración de importancia de cada uno de los criterios de funcionamiento al compararlos entre sí, de manera que se puedan evaluar las bombas según las condiciones establecidas por la empresa y los autores.

Tabla 3
Tabla de especificaciones de diferentes bombas peristálticas

Criterio de funcionamiento	Proveedor y serie de bomba					
	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/ 3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.0	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendo Dispenser pump
Voltaje de alimentación (V)	12	24-30	24-30	12	12	12 y 24
Corriente nominal (mA)	400	1500	1500	Low	150	500
Funcionamiento eléctrico	Motor DC	Motor a pasos	Motor a pasos bipolar	Motor DC	Motor DC	Motor DC
Tipo de comunicación con el control	Señal y común	Señales y común	Señales y común	Señal y común	Señal y común	Ethernet
Velocidad (ml/min)	356	0.2-177	0.2-540	500	375	700
Velocidad (RPM)	330	150	500 max	-	-	-
Costo	67.14 + imp	146.48 + imp	93.24 + imp	65.45 + imp	111.86 + imp	139.99 + imp
Tipo de control de velocidad	PWM	PWM	Pasos (Puente H)	PWM	PWM	Serial
Precisión de dosificación	Media	Media	1.8 Degress (Alta)	Media	Media	Alta
Controlador para su funcionamiento	ARDUINO	ARDUINO	ARDUINO	ARDUINO	ARDUINO	RASPBERRY PI
Diámetro del tubo interior (mm)	5	5	5	3	5	5
Identificación del tubo interior	Norprene	Norprene	Norprene	Vinyl	Norprene	Tygon
Número de conexiones por motor	2	7	4	2	2	1
Dimensiones exteriores (mm)	68*60*90	68*85*90	68*60*90	101*76*108	68*60*90	65*65*90
Dispositivos adicionales necesarios	1 Controlador DC	Ninguno	1 Controlador pasos	1 Controlador DC	1 Controlador DC	Router
Costo de dispositivos adicionales	15	0	15	15	15	100
Dificultad de uso (Alta, media, baja)	Baja	Baja	Media	Baja	Baja	Alta

Tabla 4
Tabla de pesos de los criterios de funcionamiento de las bombas peristálticas

	Voltaje de alimentación	Corriente nominal	Funcionamiento eléctrico	Tipo de comunicación con el control	Velocidad dosificación	Velocidad motor	Costo	Tipo de control de velocidad	Precisión de dosificación	Controlador para su funcionamiento	Diámetro del tubo interior	Identificación del tubo interior	Número de conexiones por motor	Dimensiones exteriores	Dispositivos adicionales necesarios	Costo de dispositivos adicionales	Dificultad de uso	S+1	Ponderación	
Voltaje de alimentación	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	8.5	0.0122	
Corriente nominal	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	8.5	0.0122	
Funcionamiento eléctrico	5	5	2.5	0	0	0	2.5	0	2.5	5	5	0	2.5	5	5	5	2.5	43.5	0.0624	
Tipo de comunicación con el control	5	5	2.5	0	0	2.5	5	0	2.5	5	5	2.5	5	5	5	5	2.5	53.5	0.0768	
Velocidad dosificación	5	5	5	5	5	5	2.5	2.5	5	5	5	2.5	5	2.5	2.5	2.5	0	63.5	0.0911	
Velocidad motor	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	2.5	0	2.5	5	0	0	0	31	0.0445	
Costo	5	5	5	2.5	0	5	2.5	0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	2.5	0	48.5	0.0696	
Tipo de control de velocidad	5	5	2.5	0	2.5	5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	2.5	5	5	5	2.5	58.5	0.0839	
Precisión de dosificación	5	5	5	5	2.5	5	5	2.5	2.5	2.5	5	2.5	5	5	5	5	2.5	68.5	0.0983	
Controlador para su funcionamiento	5	5	2.5	2.5	0	5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	2.5	5	2.5	2.5	2.5	53.5	0.0768	
Diámetro del tubo interior	0	0	0	0	0	2.5	2.5	0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	8.5	0.0122	
Identificación del tubo interior	5	5	5	0	0	5	2.5	0	2.5	0	5	5	5	2.5	0	0	0	38.5	0.0552	
Número de conexiones por motor	5	5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0	2.5	2.5	5	0	0	2.5	2.5	2.5	0	41	0.0588	
Dimensiones exteriores	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	2.5	2.5	0	0	0	0	18.5	0.0265	
Dispositivos adicionales necesarios	5	5	0	0	2.5	5	0	0	0	2.5	5	5	2.5	5	0	0	0	38.5	0.0552	
Costo de dispositivos adicionales	5	5	0	0	2.5	5	2.5	0	0	2.5	5	5	2.5	5	5	0	0	46	0.0660	
Dificultad de uso	5	5	2.5	2.5	5	5	5	2.5	2.5	2.5	5	5	5	5	5	5	0	68.5	0.0983	
																		Total	697	1.0000

En la tabla 4 se observa que existen valoraciones de 0, 2.5, y 5, estos valores representan la importancia del criterio correspondiente a la fila en comparación con el elemento correspondiente a una columna. Un valor de 0 significa mínima importancia, un valor de 2,5 significa igual importancia, mientras que un valor de 5 significa máxima importancia. Por ejemplo, el criterio *Voltaje de alimentación* de la primera fila tiene un valor de 0 en comparación con el criterio *Funcionamiento eléctrico*, esto quiere decir que el voltaje de alimentación es menos importante. Desde la tabla 5 hasta la tabla 21 se observa la calificación que los autores han impuesto a cada una de las bombas en función de los valores de las especificaciones de cada una de ellas. Las valoraciones se manejan de igual forma que la tabla 5.

Tabla 5
Tabla de ponderación de voltaje de alimentación

Voltaje de alimentación	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	$\Sigma+1$	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		5	5	2.5	2.5	5	21	0.259
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	0		2.5	0	0	5	8.5	0.105
Williamson Manufacturing 201.SM.050	0	2.5		0	0	5	8.5	0.105
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	5	5		0	5	18.5	0.228
Simply Pumps PM200S	2.5	5	5	5		5	23.5	0.290
Bartendro Dispenser pump	0	0	0	0	0		1	0.012
						Total	81	1

Tabla 6
Tabla de ponderación de corriente nominal

Corriente nominal	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		5	5	2.5	0	5	18.5	0.228
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	0		2.5	0	0	0	3.5	0.043
Williamson Manufacturing 201.SM.050	0	2.5		0	0	0	3.5	0.043
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	5	5		0	5	18.5	0.228
Simply Pumps PM200S	5	5	5	5		5	26	0.321
Bartendro Dispenser pump	0	5	5	0	0		11	0.136
						Total	81	1

Tabla 7
Tabla de ponderación de funcionamiento eléctrico

Funcionamiento eléctrico	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		2.5	5	2.5	2.5	2.5	16	0.186
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	2.5		5	0	0	0	8.5	0.099
Williamson Manufacturing 201.SM.050	5	0		0	0	0	6	0.070
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	5	5		2.5	2.5	18.5	0.215
Simply Pumps PM200S	2.5	5	5	2.5		2.5	18.5	0.215
Bartendro Dispenser pump	2.5	5	5	2.5	2.5		18.5	0.215
						Total	86	1

Tabla 8
Tabla de ponderación de tipo de comunicación con el control

Tipo de comunicación con el control	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		2.5	2.5	2.5	2.5	5	16	0.198	
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	2.5		2.5	2.5	2.5	5	16	0.198	
Williamson Manufacturing 201.SM.050	2.5	2.5		2.5	2.5	5	16	0.198	
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	2.5	2.5		2.5	5	16	0.198	
Simply Pumps PM200S	2.5	2.5	2.5	2.5		5	16	0.198	
Bartendro Dispenser pump	0	0	0	0	0		1	0.012	
							Total	81	1

Tabla 9
Tabla de ponderación de velocidad de dosificación

Velocidad dosificación	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		5	0	0	2.5	0	8.5	0.105	
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	0		0	0	0	0	1	0.012	
Williamson Manufacturing 201.SM.050	5	5		2.5	5	0	18.5	0.228	
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	5	5	2.5		5	0	18.5	0.228	
Simply Pumps PM200S	2.5	5	0	0		0	8.5	0.105	
Bartendro Dispenser pump	5	5	5	5	5		26	0.321	
							Total	81	1

Tabla 10
Tabla de ponderación de velocidad del motor

Velocidad motor	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		5	0	0	2.5	0	8.5	0.105
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	0		0	0	0	0	1	0.012
Williamson Manufacturing 201.SM.050	5	5		2.5	5	0	18.5	0.228
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	5	5	2.5		5	0	18.5	0.228
Simply Pumps PM200S	2.5	5	0	0		0	8.5	0.105
Bartendro Dispenser pump	5	5	5	5	5		26	0.321
						Total	81	1

Tabla 11
Tabla de ponderación de costo

Costo	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		5	5	2.5	5	5	23.5	0.290
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	0		0	0	0	0	1	0.012
Williamson Manufacturing 201.SM.050	0	5		0	5	5	16	0.198
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	5	5		5	5	23.5	0.290
Simply Pumps PM200S	0	5	0	0		5	11	0.136
Bartendro Dispenser pump	0	5	0	0	0		6	0.074
						Total	81	1

Tabla 14
Tabla de ponderación de controlador para su funcionamiento

Controlador para su funcionamiento	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación	
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0	11	0.136	
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	2.5		2.5	2.5	2.5	2.5	0	11	0.136	
Williamson Manufacturing 201.SM.050	2.5	2.5		2.5	2.5	2.5	0	11	0.136	
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	2.5	2.5			2.5	0	11	0.136	
Simply Pumps PM200S	2.5	2.5	2.5	2.5			0	11	0.136	
Bartendro Dispenser pump	5	5	5	5	5	5		26	0.321	
								Total	81	1

Tabla 15
Tabla de ponderación de diámetro del tubo interior

Diámetro del tubo interior	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación	
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		2.5	2.5	5	2.5	2.5	2.5	16	0.198	
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	2.5		2.5	5	2.5	2.5	2.5	16	0.198	
Williamson Manufacturing 201.SM.050	2.5	2.5		5	2.5	2.5	2.5	16	0.198	
rey Beard's Niagara Rotary Pump	0	0	0			0	0	1	0.012	
Simply Pumps PM200S	2.5	2.5	2.5	5			2.5	16	0.198	
Bartendro Dispenser pump	2.5	2.5	2.5	5	5	2.5		16	0.198	
								Total	81	1

Tabla 16
Tabla de ponderación de identificación del tubo interior

Identificación del tubo interior	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		2.5	2.5	5	2.5	2.5	16	0.198
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	2.5		2.5	5	2.5	2.5	16	0.198
Williamson Manufacturing 201.SM.050	2.5	2.5		5	2.5	2.5	16	0.198
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	0	0	0		0	0	1	0.012
Simply Pumps PM200S	2.5	2.5	2.5	5		2.5	16	0.198
Bartendro Dispenser pump	2.5	2.5	2.5	5	2.5		16	0.198
							Total 81	1

Tabla 17
Tabla de ponderación de número de conexiones por motor

Número de conexiones por motor	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		5	5	2.5	2.5	0	16	0.198
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	0		0	0	0	0	1	0.012
Williamson Manufacturing 201.SM.050	0	5		0	0	0	6	0.074
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	5	5		2.5	0	16	0.198
Simply Pumps PM200S	2.5	5	5	2.5		0	16	0.198
Bartendro Dispenser pump	5	5	5	5	5		26	0.321
							Total 81	1

Tabla 18
Tabla de ponderación de dimensiones exteriores

Dimensiones exteriores	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		5	2.5	5	2.5	2.5	18.5	0.228
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	0		0	5	0	2.5	8.5	0.105
Williamson Manufacturing 201.SM.050	2.5	5		5	5	5	23.5	0.290
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	0	0	0		0	0	1	0.012
Simply Pumps PM200S	2.5	5	0	5		2.5	16	0.198
Bartendro Dispenser pump	2.5	2.5	0	5	2.5		13.5	0.167
						Total	81	1

Tabla 19
Tabla de ponderación de dispositivos adicionales necesarios

Dispositivos adicionales necesarios	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Σ+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		0	0	2.5	2.5	2.5	8.5	0.105
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	5		5	5	5	2.5	23.5	0.290
Williamson Manufacturing 201.SM.050	5	0		0	0	2.5	8.5	0.105
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	0	5		2.5	2.5	13.5	0.167
Simply Pumps PM200S	2.5	0	5	2.5		2.5	13.5	0.167
Bartendro Dispenser pump	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5		13.5	0.167
						Total	81	1

Tabla 20
Tabla de ponderación de costo de dispositivos adicionales

Costo de dispositivos adicionales	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Z+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		0	2.5	2.5	2.5	5	13.5	0.167
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	5		5	5	5	5	26	0.321
Williamson Manufacturing 201.SM.050	2.5	0		2.5	2.5	5	13.5	0.167
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	0	2.5		2.5	5	13.5	0.167
Simply Pumps PM200S	2.5	0	2.5	2.5		5	13.5	0.167
Bartendro Dispenser pump	0	0	0	0	0		1	0.012
						Total	81	1

Tabla 21
Tabla de ponderación de dificultad de uso

Dificultad de uso	Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	Williamson Manufacturing 201.SM.050	Grey Beard's Niagara Rotary Pump	Simply Pumps PM200S	Bartendro Dispenser pump	Z+1	Ponderación
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3		2.5	5	2.5	2.5	5	18.5	0.228
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	2.5		5	2.5	2.5	5	18.5	0.228
Williamson Manufacturing 201.SM.050	0	0		0	0	5	6	0.074
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	2.5	2.5	5		2.5	5	18.5	0.228
Simply Pumps PM200S	2.5	2.5	5	2.5		5	18.5	0.228
Bartendro Dispenser pump	0	0	0	0	0		1	0.012
						Total	81	1

Tabla 22
Tabla de conclusión de selección de bomba

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Σ	No.
Williamson Manufacturing 201.330.012.050/3	0.003	0.003	0.012	0.015	0.010	0.005	0.020	0.019	0.010	0.010	0.002	0.011	0.012	0.006	0.006	0.011	0.022	0.177	2
Williamson Manufacturing 201.SMB.150.050	0.001	0.001	0.006	0.015	0.001	0.001	0.001	0.019	0.010	0.010	0.002	0.011	0.001	0.003	0.016	0.021	0.022	0.142	6
Williamson Manufacturing 201.SM.050	0.001	0.001	0.004	0.015	0.021	0.010	0.014	0.004	0.029	0.010	0.002	0.011	0.004	0.008	0.006	0.011	0.007	0.158	5
Grey Beard's Niagara Rotary Pump	0.003	0.003	0.013	0.015	0.021	0.010	0.020	0.019	0.010	0.010	0.000	0.001	0.012	0.000	0.009	0.011	0.022	0.181	1
Simply Pumps PM200S	0.004	0.004	0.013	0.015	0.010	0.005	0.009	0.019	0.010	0.010	0.002	0.011	0.012	0.005	0.009	0.011	0.022	0.172	3
Bartendro Dispenser pump	0.000	0.002	0.013	0.001	0.029	0.014	0.005	0.004	0.029	0.025	0.002	0.011	0.019	0.004	0.009	0.001	0.001	0.169	4
																		Total	1.000

En la tabla 22 se pueden observar los valores que resultan de la comparación entre opciones de bombas peristálticas, considerando la importancia que se ha asignado a cada criterio. En la última columna se observa que la bomba peristáltica *Grey Beard's Niagara Rotary Pump* tiene el mayor puntaje entre todas las opciones, por lo tanto esta bomba ha sido la opción para realizar el proceso de dosificación.

2.2.3. Diseño de la estructura base

La estructura del sistema está compuesta principalmente por paredes de Polimetilmetacrilato, este material se ha seleccionado debido a sus características de resistencia mecánica y de transparencia lo cual nos permite dar a la máquina un mejor aspecto, posibilidad de reflejar a través de las paredes un sistema de iluminación personalizada con diferentes patrones, y que a su vez la estructura no pierda su balance ni se deforme.

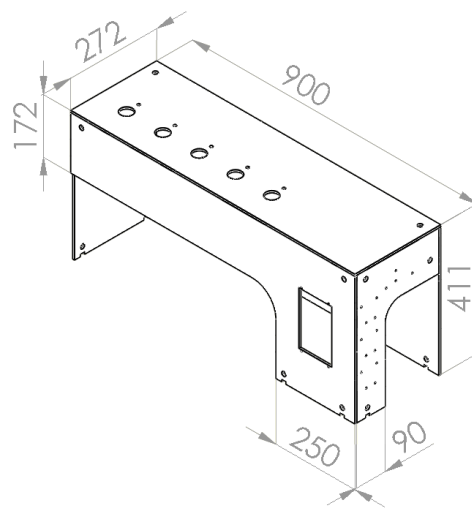


Figura 10 Dimensiones generales de la estructura base del sistema

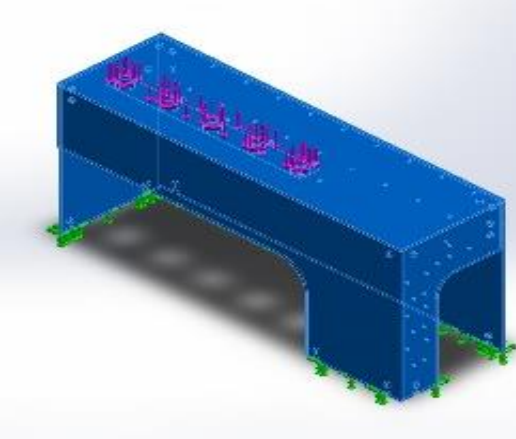
La estructura base de la máquina (fig. 10) se ha diseñado en base de las dimensiones de los componentes de dosificación, estos elementos se distribuyen a lo largo de la pared posterior de la estructura y ocupan un espacio considerable en la máquina. Se ha realizado un estudio estático a partir del dimensionamiento general del sistema, de manera que se compruebe que no existirá una deformación de alguna de las paredes que conforman a la estructura.

Especificaciones definidas para el estudio estático

Propiedades mecánicas del material

Las propiedades mecánicas del material se detallan en la tabla 23.

Tabla 23
Tabla de propiedades del material

Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: PMMA</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite de tracción: 6.1e+007 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1.05e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.77e+009 N/m²</p> <p>Densidad: 1190 kg/m³</p>

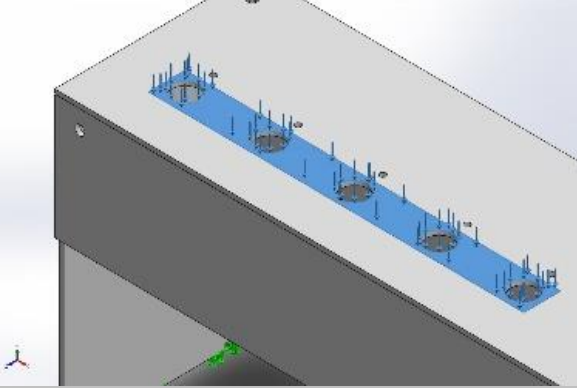
Cargas y sujeciones del ensamble

Se han tomado medidas de masa de diferentes botellas de contenido alcohólico, se ha considerado un promedio de masa de 1.5 Kg que nos ayudará a definir la carga existente en la pared superior de la estructura. Considerando que existe un total de cinco botellas y un factor de diseño de 2.5 podemos encontrar el valor total del peso de la siguiente manera:

$$P = n(\text{masa})(\#botellas)(\text{gravedad}) = 2.5(1.5)(5)(9.81) = 183.938 [N]$$

Se observa en la tabla 24, el posicionamiento de la carga distribuida y el detalle de carga.

Tabla 24
Tabla de definición de carga

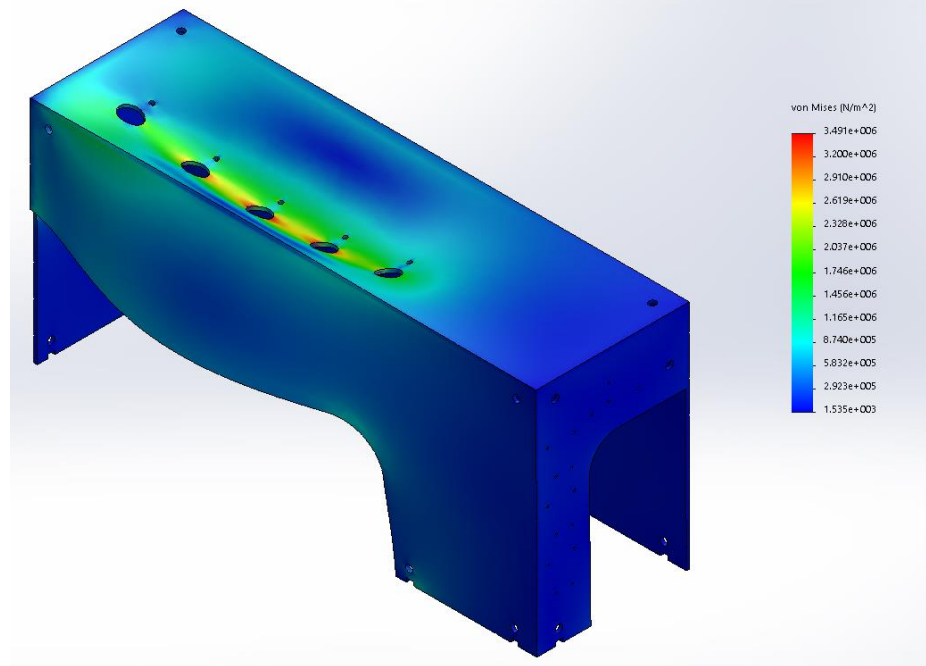
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 183.938 N</p>

Resultados del estudio estático

Se comprueba a través de la tabla 25 que la Tensión de von Mises máxima en el ensamble es considerablemente menor al límite especificado por las propiedades del material. De igual forma la deformación existente está alrededor de 2mm, valor que no interfiere con el funcionamiento adecuado de la estructura.

Tabla 25
Tabla de resultados del estudio estático

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von	1535.06	3.49126e+006
	Mises	N/m ²	N/m ²
		Nodo: 82592	Nodo: 41593



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento	0 mm	2.02879 mm
	resultante	Nodo: 27	Nodo: 1459

2.2.4. Diseño de sistema de movimiento lineal

El movimiento lineal que realiza el soporte para vasos de manera que pueda ubicarse en los diferentes puntos de dosificación de cada una de las bebidas, se realiza mediante la guía de dos ejes de diámetro específico, el soporte contiene dos rodamientos lineales que permiten el deslizamiento del soporte a través de la trayectoria lineal (fig. 11)



Figura 11 Sistema de movimiento lineal diseñado

La banda dentada se acopla directamente a un motor a pasos a través de un engrane, lo que permite la transmisión del movimiento del eje del motor al soporte de vasos ubicado en el sistema (fig. 12).

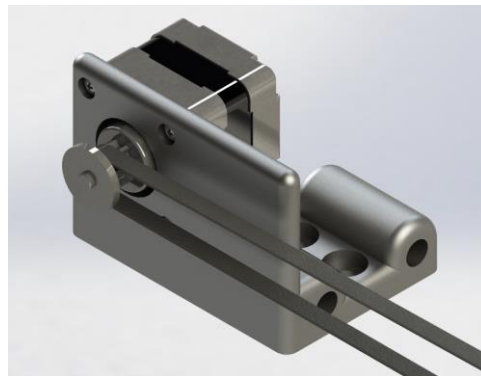


Figura 12 Sistema de transmisión de movimiento

Se han realizado cálculos para la definición de las guías del movimiento, así como el torque necesario para que el motor produzca este movimiento.

Definición de diámetro de guías de movimiento lineal

El material a utilizarse para las guías que permitan el movimiento lineal del soporte para vasos es acero inoxidable debido a que estos elementos estarán expuestos a salpicaduras de líquido que se formen por manipulación del vaso o por el mismo funcionamiento de dosificación de la máquina.

El acero inoxidable, por sus propiedades mecánicas tiene una resistencia a la fractura de 1.16, lo cual le da un comportamiento dúctil. A partir de esta definición podemos escoger una teoría de falla que permitirá el cálculo del diámetro requerido para cada una de las guías.

La fuerza que actúa sobre las guías de acero inoxidable está definida por el peso del soporte para vasos, mismo que será fabricado mediante impresión tridimensional en material de polvo cerámico, adicionalmente se añade a esta fuerza el peso correspondiente al vaso de cristal y al peso que ejerce el líquido del coctel.

Haciendo uso de la teoría de esfuerzo cortante máximo o ECM, definimos la ecuación 1 que relaciona la resistencia a la fluencia del material con el esfuerzo cortante máximo es:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma}{2} \leq \frac{Sy}{2n}$$

Ecuación 1

Donde:

- τ se define como el esfuerzo cortante máximo
- σ se define como el esfuerzo de flexión
- Sy se define como la resistencia a la fluencia del material
- n se define como el factor de seguridad empleado para el diseño

El esfuerzo de flexión se obtiene mediante la ecuación 2:

$$\sigma = \frac{M d/2}{I}$$

Ecuación 2

Donde:

- σ se define como el esfuerzo de flexión

- M se define como momento flector que se efectúa en la sección crítica
- I se define como momento de inercia transversal
- d se define como el diámetro del eje

Debido a que el momento de inercia de la sección transversal del eje se define:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

Ecuación 3

La ecuación 2 resultaría en la ecuación 4 representada a continuación:

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

Ecuación 4

Reemplazando la ecuación 4 en la ecuación 1 y despejando de la ecuación el diámetro del eje guía el cual queremos calcular tenemos:

$$d \geq \left(\frac{32 n M}{\pi S_y} \right)^{1/3}$$

Ecuación 5

Especificación de elementos referentes a la ecuación

Líquido del coctel

Para determinar la masa del líquido del coctel, se ha tomado como referencia al líquido con mayor densidad, en este caso la bebida carbonatada o gaseosa la cual tiene una densidad de 1.04 g/ml. Si consideramos que el vaso tiene una capacidad de 440 ml, entonces la masa del líquido tiene un total de 0.4576 Kg.

Vaso de cristal

La masa del vaso de vidrio se ha determinado mediante el modelamiento del mismo en el software SolidWorks (fig. 13).

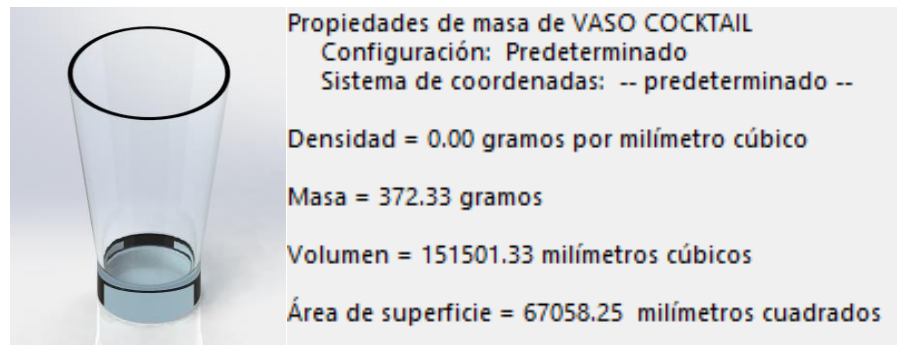


Figura 13 Propiedades del vaso de cristal usado

La masa correspondiente tiene el valor de 0.37233 Kg

Soporte para vasos

La masa del soporte para vasos se ha determinado mediante el modelamiento del mismo en el software SolidWorks (fig. 14)

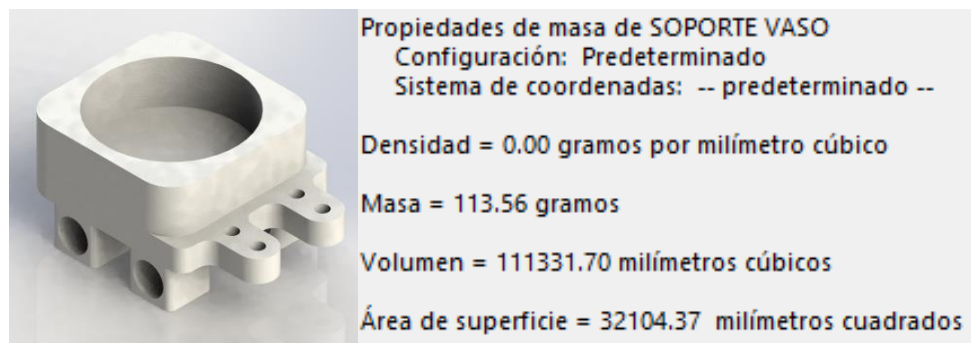


Figura 14 Propiedades del soporte para vasos diseñado

La masa correspondiente tiene el valor de 0.1136Kg

Fuerza total

La fuerza total ejercida por el peso se especifica mediante la suma de las masas del vaso de cristal (0.37233 Kg), del líquido contenido en el vaso (0.4576 Kg), y el soporte para vasos (0.1136 Kg) multiplicado por la fuerza de gravedad (9.81 m/s^2), lo que resulta en 9.256 N

Momento flector

La sección más crítica donde el eje podría fallar es en la mitad de la longitud de este elemento, de esta manera podemos definir de manera simplificada al diagrama de fuerzas de un único eje como se muestra en la fig. 15.

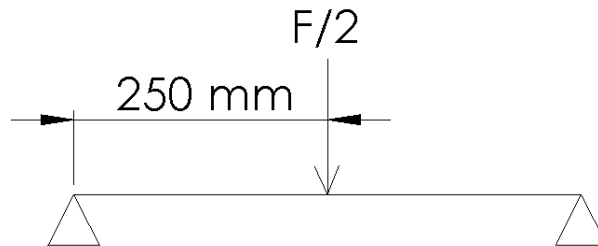


Figura 15 Diagrama simplificado de acción de fuerzas en una de las guías

El momento como producto de la fuerza ejercida sobre el eje y la distancia al punto donde actúa la misma tiene un valor correspondiente a:

$$M = \frac{9.256 [N]}{2} (0.25 [m]) = 1.157 [N m]$$

Resistencia a la fluencia del material

El acero inoxidable tiene una resistencia a la fluencia de 241 MPa

Factor de seguridad

Para el diseño se ha determinado un factor de diseño de 2.5 para asegurar la calidad del funcionamiento del movimiento lineal

Cálculo del diámetro del eje

Mediante el uso de la ecuación 5, obtenemos el valor del diámetro correspondiente:

$$d \geq \left(\frac{32 n M}{\pi S_y} \right)^3$$

$$d \geq \left(\frac{32 (2.5)(1.157) [N m]}{\pi 241(10)^6 [N/m^2]} \right)^{1/3}$$

$$d \geq 0.00496 m$$

Lo que resulta en un eje de diámetro de 5mm.

Definición de rodamiento lineal a utilizarse

Equivalente al eje de 5 mm, podemos determinar un rodamiento lineal de diámetro 5mm marca SKF.



Figura 16 Rodamiento lineal de bolas SKF

Fuente: (SKF, 2015)

Sin embargo, mediante un análisis de costo tanto de guías como de rodamientos se determina que el rodamiento lineal de 5mm tiene un costo considerablemente alto en relación al rodamiento de 10mm, y al incrementar este diámetro el eje de igual forma debe ser de 10mm de diámetro, lo cual refuerza al diseño de guías realizado con anterioridad.

Selección de motor a pasos

El motor a pasos permite el movimiento del soporte para vasos a través de un mecanismo directo de banda sincrónica. Este mecanismo permite que el motor se acople a la banda dentada mediante una polea dentada que gira solidaria al eje del motor. Las especificaciones del mecanismo para realizar el cálculo del par de torsión son las siguientes:

- La masa total resultante de la sumatoria de el soporte para vasos, el vaso de cristal, y el líquido es, 0.94353 Kg.
- El coeficiente de fricción entre la banda de Poliuretano y el acero es de aproximadamente 0.7.
- El rendimiento del sistema de transmisión esperado es de 0.9
- El factor de diseño aplicado es de 2.5
- El diámetro de la polea dentada es 13mm

Para realizar el cálculo de carga lineal efectuado por la acción del peso de los elementos utilizamos la ecuación 6.

$$F = \mu W g$$

Ecuación 6

Donde:

- μ se define como el coeficiente de fricción de los componentes
- W se define como la masa total de los elementos
- g se define como la fuerza de gravedad

Utilizando las especificaciones del motor a pasos tenemos:

$$F = \mu W g = 0.7(0.94353 [Kg])(9.81 [m/s^2]) = 6.479 [N] = 0.66 [Kgf]$$

Para realizar el cálculo de par de carga efectuado por la acción de esta fuerza utilizamos la ecuación 7.

$$T = \frac{n F D}{2 f}$$

Ecuación 7

Donde:

- n se define como el factor de diseño

- F se define como la carga lineal
- D se define como el diámetro de la polea dentada
- f se define como el rendimiento del sistema

Reemplazando los valores de las especificaciones del conjunto de elementos que componen al sistema tenemos:

$$T = \frac{2.5 (0.66 [Kgf]) 1.3 [cm]}{2 (0.9)} = 1.192 [Kgf cm]$$

El motor comercial a utilizarse que cumpla con esta condición, es el motor a pasos Nema 17 2.4 Kg-cm, mismo que cumple con una relación de movimiento de 1.8 grados por pulso.

2.3. Diseño de software

El software que controlará al sistema está comprendido en cuatro segmentos principales: comunicación, control de bombas peristálticas, control de motor a pasos, e Interfaz Humano-Máquina. Se especifica a continuación estos subsistemas implementados.

2.3.1. Software de comunicación

La comunicación del sistema se realizará siguiendo el esquema representado en la Fig. 17. El modelo de comunicación utilizado es Master/Slave, donde un Arduino Mega constituye el elemento Master y controlará al resto de elementos slave como Arduino UNO y touchscreen. El bus de comunicación utilizado es I²C, el mismo que es soportado por los controladores Arduino como el controlador del touchscreen, este bus utiliza una línea de masa y dos líneas para la transmisión de información, una de ellas para datos y otra para la señal reloj.

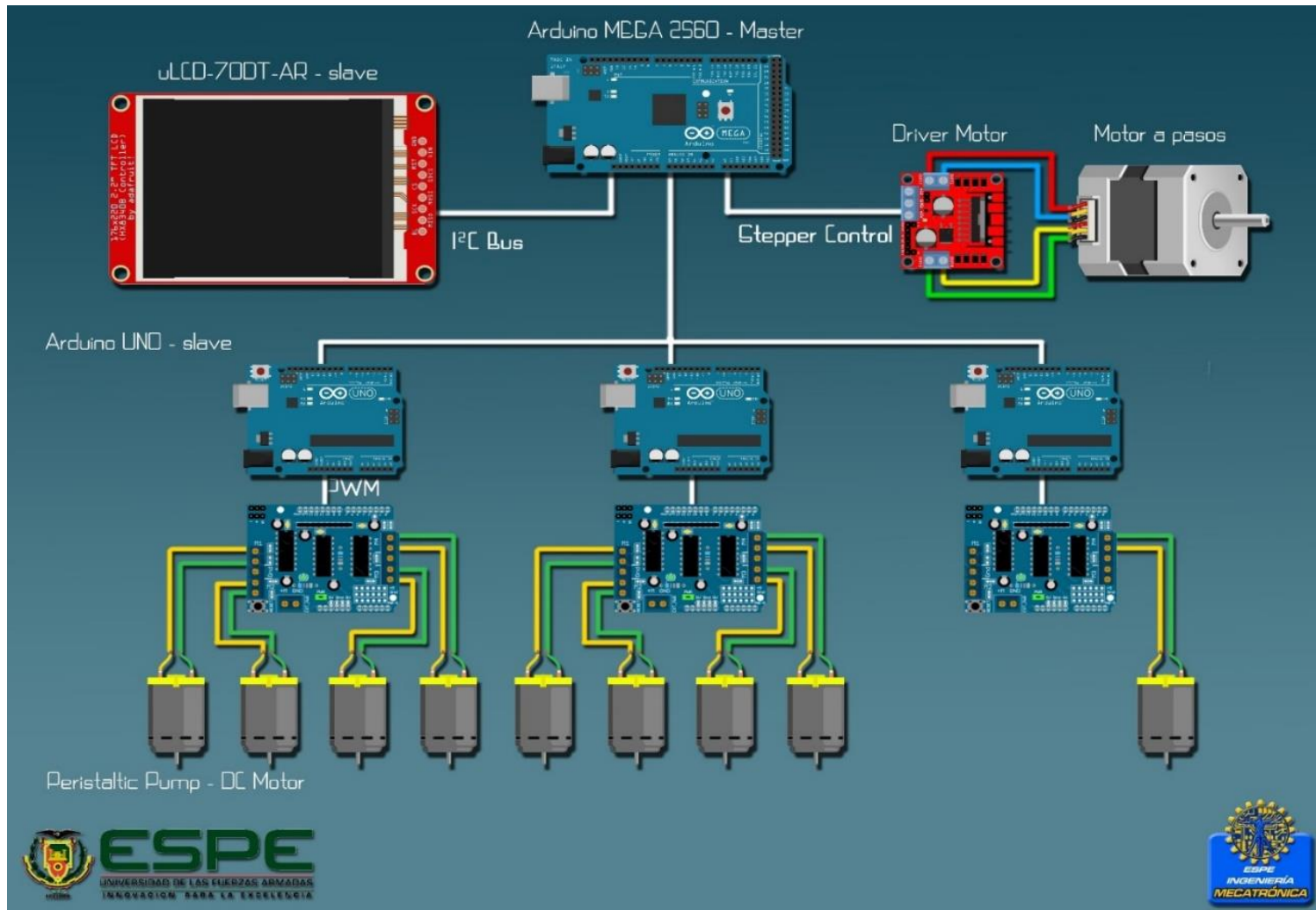


Figura 17 Esquema de comunicación entre subsistemas

La conexión realizada entre el Arduino Mega denominado Master y el Arduino Uno denominado Slave se describe en la Fig. 18. Las conexiones de los siguientes Arduino Uno esclavos se realiza mediante una conexión en paralelo a los cables de transferencia de información.

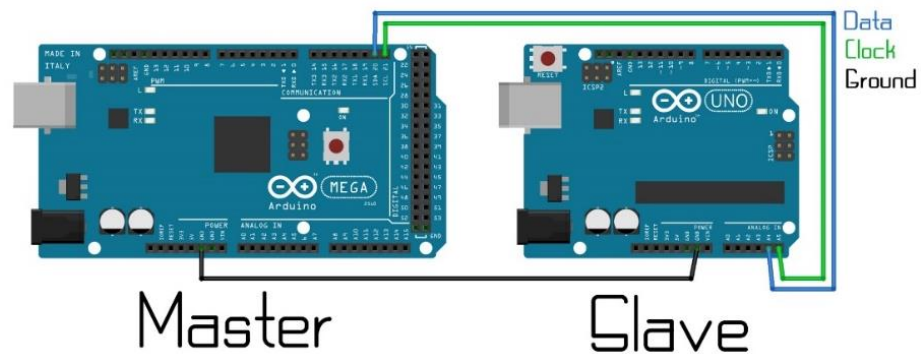


Figura 18 Conexión Master/Slave Arduino Mega y Arduino Uno

La conexión realizada entre el Arduino Master y la pantalla touch 4D Systems se observa en la Fig. 19, la conexión de transmisión de datos se efectúa a través de los pines TX y RX de ambos elementos electrónicos, la conexión de reset de la pantalla se realiza con cualquier pin digital del Arduino Master. La programación para comunicar al Arduino con la pantalla se describe en el Apéndice A1.

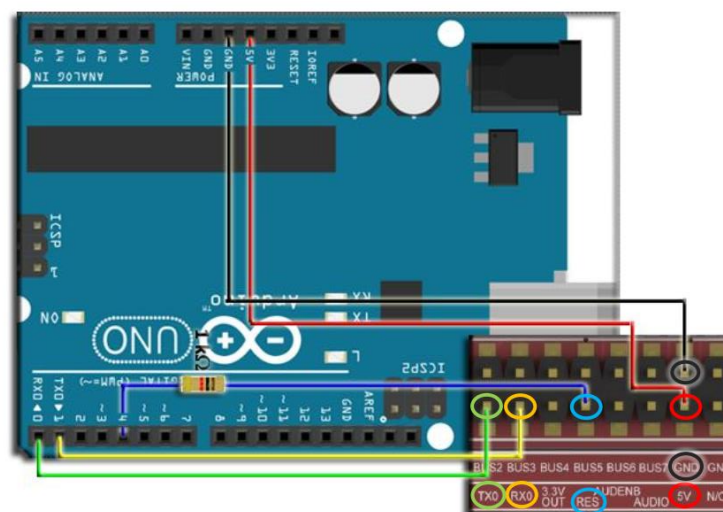


Figura 19 Conexión Master/Slave Arduino Mega y Touchscreen

Fuente: (4D Systems, 2014)

2.3.2. *Software de control de bombas peristálticas*

El control de las bombas peristálticas se realiza a través del uso de una tarjeta electrónica denominada Motor Driver, la cual se acopla al Arduino Uno y permite la conexión de un voltaje de entrada superior a los 5V soportados por la tarjeta Arduino, permitiendo de esta forma alimentar a los motores DC con un voltaje externo de 12V y un control de velocidad mediante modulación por ancho de pulso.

La programación que permite el control de los motores DC está basada en una de las librerías gratuitas de Arduino donde existen funciones que permiten un fácil control de la velocidad y encendido de los motores utilizando una o dos líneas de programación por motor y las salidas PWM que el Arduino contiene físicamente, la programación utilizada para el control de los cuatro motores se encuentra detallada en el Apéndice A2.

Mediante ensayos de encendido y apagado programado de las bombas peristálticas, se ha comprobado que cada bomba tiene una velocidad diferente, por lo que es necesario ajustar una función que permita calcular el tiempo de encendido de cada bomba en relación al volumen requerido de bombeo de licor.

Para obtener esta función se ha realizado un subprograma que permite ingresar un tiempo de encendido de bomba predeterminado de manera que se obtengan datos de volumen y se construya una gráfica la cual represente la función resultante de estos datos. El resumen de los resultados obtenidos se encuentra detallado en el Apéndice A3.

Cada driver es capaz de controlar cuatro motores DC y la máquina está diseñada para trabajar con nueve bombas peristálticas distintas, por lo que es necesario utilizar tres controladores Arduino Uno.

2.3.3. *Software de control de motor a pasos*

El motor a pasos utilizado tiene características de unipolaridad y puede ser conectado al mismo modelo de la tarjeta electrónica Motor Driver utilizado para los motores DC o a una tarjeta de menor tamaño. El control de velocidad y de posición de

este motor se dará a través del software de programación como se muestra en el Apéndice A2. Se observa que el número de pasos que efectuará el motor está controlado por una función de las librerías de Arduino, lo que facilita y minimiza las líneas de programación.

La distancia recorrida por el soporte para vasos se traduce en número de pasos y es obtenida de tal manera que el vaso se encuentre en una posición adecuada debajo de la manguera de dosificación en su respectiva botella según sea el caso.

2.3.4. *Software de interfaz humano-máquina*

El HMI empleado se ha diseñado sobre el software de programación de 4D Systems, el diseño de Interfaz Humano-Máquina se basa en la simplicidad de funcionamiento sin perder el lado estético que se busca para la máquina. Se emplean tres tipos de ventanas en el desarrollo del HMI, esto permite una mejor organización del interfaz.

La primera ventana que se muestra al usuario (Fig. 20), es la denominada HOME, la misma que contiene un botón de ingreso a la pantalla de menú de bebidas.

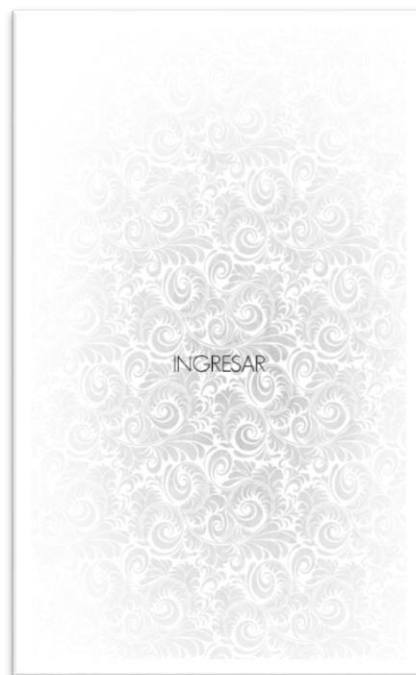


Figura 20 Ventana HOME del interfaz

La siguiente ventana con la que el usuario podrá interactuar es la denominada MENU (Fig. 21), la misma que contiene los botones que guiarán al usuario a través de las diferentes recetas de bebidas que se podrán servir con la máquina. La organización de las ventanas que corresponden a las bebidas se realiza según la botella de licor de la que se dispensará el líquido, así se subdividen en bebidas para Ginebra, Tequila, Whisky, Ron, Vodka, y Varios licores en una misma bebida.



Figura 21 Ventana MENU del interfaz

Al ingresar a cualquiera de las opciones de licor expuestas en la ventana MENU, el usuario podrá interactuar con la ventana de bebidas (Fig. 22) nombrada en la programación de HMI con el respectivo nombre del coctel a preparar.







Figura 22 Ventana de bebida a preparar

Se emplean imágenes de fondo con un estilo clásico y elegante, sobre éstas se emplean fotografías de las bebidas a preparar de manera que el usuario pueda tener una idea gráfica de su selección de coctel, en la parte inferior se encuentra el nombre del coctel con una descripción simple de lo que la bebida contiene.

Existen diferentes íconos que permiten la navegación entre ventanas, éstos se detallan en la tabla 26.

Tabla 26
Descripción de íconos del interfaz

<i>Ícono empleado</i>	<i>Descripción de funcionamiento</i>
	Navegación a siguientes ventanas de bebidas
	Navegación a ventana MENU
	Navegación a ventana HOME
	Servir coctel

2.4.Desarrollo integral

2.4.1. Conformación de sistema mecánico

El sistema mecánico está compuesto principalmente por la estructura sólida, sistema de dosificación y mecanismo de movimiento lineal, como elementos secundarios se encuentran los elementos de sujeción, elementos de protección de sistemas electrónicos, entre otros. La figura 23 muestra el ensamblaje de la máquina en su totalidad.

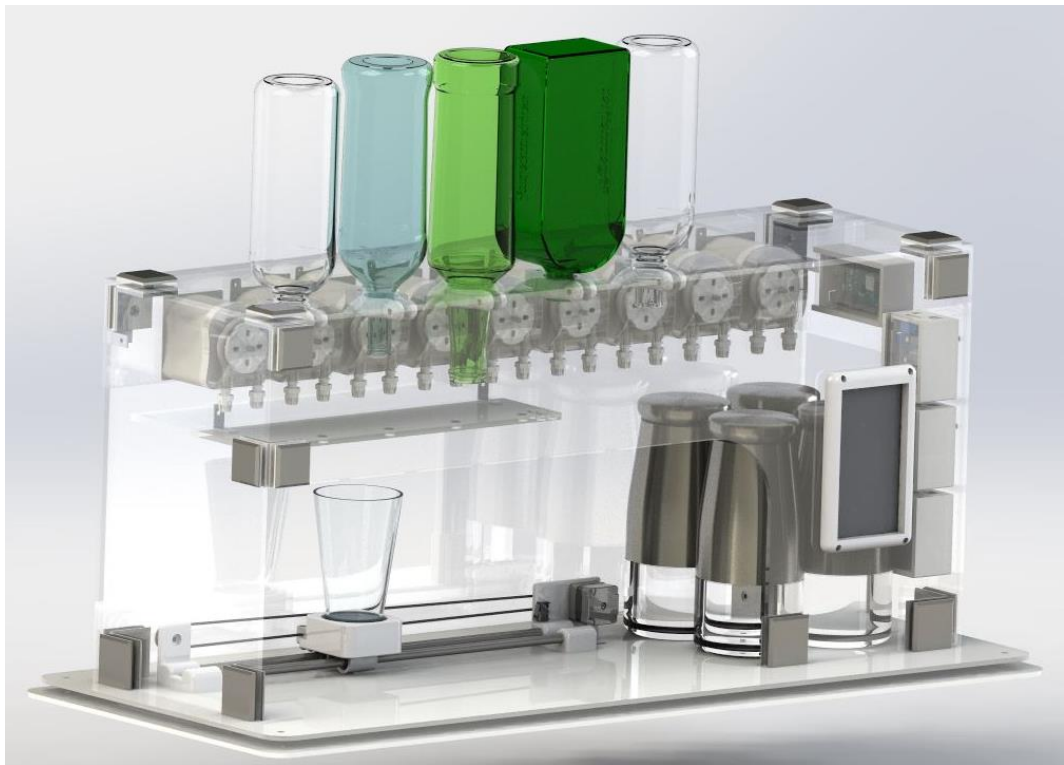


Figura 23 Ensamble de la máquina

Ensamblaje de elementos

Todos los elementos que se han diseñado en la sección 2.1 del capítulo 2 conforman el sistema mecánico de la máquina de dosificación automática, para la conformación de la misma se ha considerado como un importante criterio de diseño, la maximización de facilidad de ensamblaje, por esto se han usado completamente mecanismos de sujeción de fácil integración con la estructura y los demás complementos, así como la aplicación de las siguientes reglas:

- Inserción de piezas en lo posible, desde arriba del conjunto.
- Ensamblaje de piezas, en lo posible, con el requerimiento de una sola mano.
- Ensamblaje de piezas mediante el uso de un solo movimiento lineal
- Modularidad de elementos que componen el conjunto

Soportes y bases

La fuerza que ejerce la máquina sobre el suelo se concentra en separadores colocados en los extremos y en el centro de dos bases de acrílico separadas entre sí 10mm, de manera que entre ellas se pueda instalar fácilmente el sistema de iluminación LED sin minimizar la robustez del sistema.

Para mantener la estética del sistema, todos los elementos estructurales y base se han fabricado desde un mismo material: Láminas de Polimetilmetacrilato transparente. Las paredes que sirven como soporte de la máquina se han diseñado como se muestra en la sección 2.1 del capítulo 2.

2.4.2. Conformación de sistema electrónico

Los componentes que conforman el sistema electrónico de la máquina se listan a continuación:

- Motor a pasos
- Iluminación LED
- Arduino UNO
- Arduino MEGA
- Touchscreen
- Motores DC de bombas peristálticas
- Driver de motores

Las conexiones se realizaron usando cable FFC (Flexible Flat Cable), de manera que el volumen que ocupan estas conexiones se minimice y se mantenga de esta manera, el volumen de la máquina.

Las conexiones principales se dividen en dos grupos, alimentación y comunicación.

Conexiones de alimentación

Para que exista mayor facilidad en la interacción del usuario con la máquina, el diseño plantea una única conexión de alimentación de voltaje a 110V, por tal motivo a partir de este voltaje de corriente alterna se realizará una transformación a corriente continua de los voltajes requeridos por los elementos electrónicos, así mismo se debe considerar la corriente que consumirán los elementos y diseñar el circuito de alimentación para que pueda proporcionar dicha corriente.

La corriente de alimentación necesaria para el suministro de energía de cada uno de los elementos electrónicos se detalla en la tabla 27. Se considera en la tabla que en la programación, dos bombas peristálticas no podrán estar encendidas al mismo tiempo, este funcionamiento particular es considerado para la sumatoria de corrientes realizada.

Tabla 27
Consumo de corriente de cada uno de los elementos

Elemento	Cantidad	Corriente unitaria (mA)	Corriente conjunto (mA)
Bomba peristáltica	1	1000	1000
Arduino UNO	3	50	150
Arduino MEGA	1	50	50
Motor a pasos	1	1000	1000
Iluminación LED	1	1600	1600
Driver motor	3	50	150
Touchscreen	1	500	500
		Corriente total	4450

El voltaje que se manejará con el conjunto de LED y touchscreen es de 5V, las tarjetas de control Arduino y drivers de motores manejan una alimentación de 9V, mientras que los motores DC y el motor a pasos manejan un voltaje de 12V. Para manejar distintos voltajes y utilizar únicamente una fuente de poder se ha diseñado el siguiente circuito de la figura 24, donde se modifica el voltaje necesario para los distintos dispositivos mediante reguladores de voltaje. El modelamiento de la placa se observa en la figura 25.

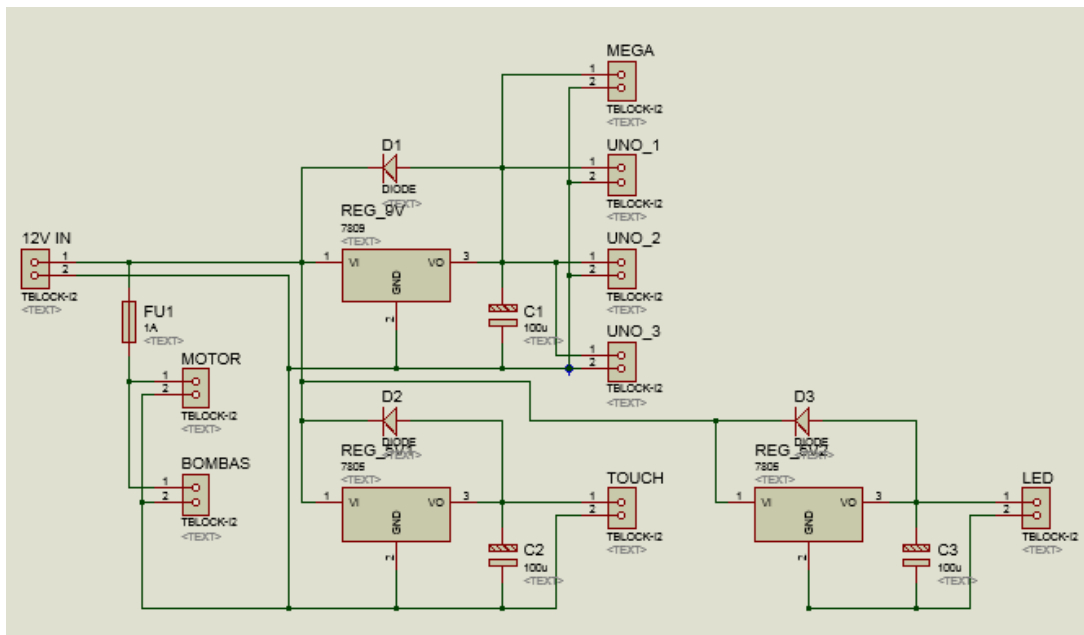


Figura 24 Circuito fuente paralela

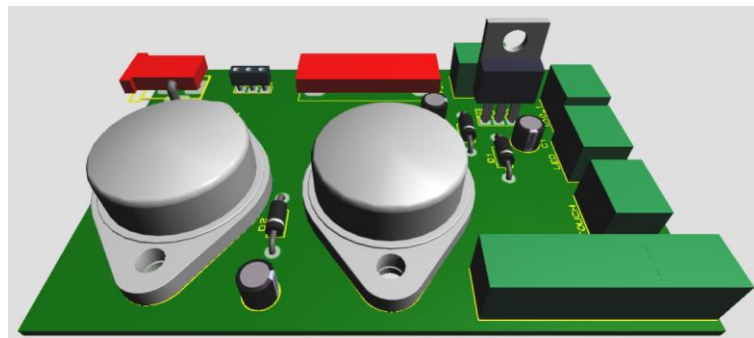


Figura 25 Modelo 3D de circuito fuente paralela

CAPÍTULO 3

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez que se ha conformado el sistema como una sola máquina, es justificativo realizar las respectivas pruebas que permitan verificar el funcionamiento tanto modular como en conjunto y de esta manera evaluar la satisfacción del proceso que realiza de la máquina durante la dosificación automática.

3.1. Desarrollo de pruebas

El desarrollo de las pruebas que se efectuarán implica la operación de la máquina bajo condiciones controladas y valorar el progreso del proceso de dosificación durante estas situaciones que pueden ser o no normales. Estas pruebas se realizarán con el objetivo de determinar posibles errores durante el proceso, de manera que se puedan corregir modificando detalles en hardware o software y optimizar el funcionamiento de la máquina, haciendo de éste un funcionamiento más robusto.

3.2. Pruebas del sistema de dosificación

Las pruebas aplicadas a la máquina se especifican a continuación:

3.2.1. Pruebas unitarias

El enfoque de esta prueba es el de ejecución de cada módulo o unidad, de manera que se determine una manera óptima de integración en conjunto. Mediante estas pruebas se busca verificar que la unidad funciona de acuerdo a lo especificado y que la lógica de programación es adecuada. Los elementos que se encuentran a continuación han sido evaluados unitariamente:

- Motor a pasos
- Bombas de dosificación
- Pantalla touch
- Luces LED

3.2.2. Pruebas de integración

El enfoque de esta prueba es el de identificar errores de ejecución que se producen durante la combinación de unidades probadas unitariamente. Durante esta etapa se verifica el desarrollo correcto de la interfaz con el usuario, la comunicación entre los diferentes dispositivos existentes en la red y que se alcance las especificaciones de diseño planteadas. Los elementos que se encuentran a continuación han sido evaluados con pruebas de integración.

- Fuente de poder y elementos electrónicos
- Driver de motor y motores (motor a pasos y bombas de dosificación)
- Pantalla touch y Arduino MEGA

3.2.3. Pruebas de funcionalidad

El enfoque de este tipo de pruebas es el de medir el desempeño de la máquina y el tiempo de respuesta de los elementos que la componen. El objetivo de realizar este tipo de prueba es el de buscar modificaciones que permitan que el proceso se desarrolle de una forma más óptima. Los elementos que se encuentran a continuación han sido evaluados con pruebas de funcionalidad.

- Interfaz Humano-Máquina.
- Sistema de dosificación.

3.2.4. Pruebas de conjunto

El enfoque de esta prueba es el analizar el sistema como un conjunto total a través de las diferentes entradas que se dan durante el proceso, verificando que las salidas cumplan con los objetivos especificados durante el diseño de la máquina.

3.3. Resultados de sistema de dosificación

3.3.1. Pruebas unitarias

Para obtener los resultados de pruebas unitarias se han realizado subprogramas independientes del sistema completo, pero que utilizan la misma lógica de programación.

Motor a pasos

Para el movimiento del motor a pasos se han considerado las características de repetibilidad, tiempo de proceso, cambio de sentido de giro y conformidad con el proceso. Para evaluar estas características se ha realizado un subprograma que permite el movimiento del soporte del vaso acoplado al eje del motor en un número definido de pasos hacia un mismo sentido e inmediatamente cumplido ese proceso regresar el mismo número de pasos en sentido contrario. La tabla 28 resume los resultados.

Tabla 28
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a motor a pasos

Distancia (mm)	No. de pasos	Repetibilidad	Tiempo	Cambio de giro	Conforme
360	1800	Media	11000	Adecuado	Si
276	1380	Media	8500	Adecuado	Si
192	960	Alta	5900	Adecuado	Si
108	540	Alta	3400	Adecuado	Si

Bombas de dosificación

Para la evaluación de las bombas de dosificación se han considerado las características de repetibilidad, tiempo de dosificación, velocidad de dosificación y conformidad con el proceso. Los resultados se han obtenido a través de la programación de encendido de bombas durante tiempos diferentes, éstos se observan en la tabla 29.

Tabla 29
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a bombas de dosificación

Tiempo (ms)	Volumen (ml)	Velocidad (ml/s)	Repetibilidad	Conforme
1000	3.967	3.967	Alta	Si
2000	8.133	4.067	Alta	Si
3000	12.400	4.133	Alta	Si
4000	17.167	4.292	Alta	Si
5000	22.200	4.440	Alta	Si
6000	27.217	4.536	Media	Si
9000	42.100	4.678	Media	Si

Pantalla táctil

La pantalla táctil se ha evaluado considerando las características de brillo, tiempo de respuesta, comunicación, y conformidad. Los resultados se han obtenido a través de la programación de la pantalla para que entregue valores a un Arduino Host conectado mediante comunicación serial. La tabla 30 resume los resultados obtenidos.

Tabla 30
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a pantalla táctil

Comando	Tiempo de respuesta	Comunicación	Brillo (%)	Conformidad
Screen	Alto	Adecuada	50%	Si
PushButton	Alto	Adecuada	50%	Si
Userbutton	Alto	Adecuada	100%	Si
Winbutton	Alto	Adecuada	100%	Si

Luces led

Las luces led se han evaluado en función de las características de luminosidad, tiempo de respuesta, igualdad de color, número de leds encendidos y conformidad. Para realizar esta prueba se ha programado un patrón de luces que controla uno por uno los led, los resultados se resumen en la tabla 31.

Tabla 31
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a luces led

No. de leds controlados	Luminosidad	Tiempo de respuesta	Igualdad de color	% de leds encendidos	Conformidad
50	Baja	Alto	Alto	100	Si
100	Media	Alto	Alto	100	Si
150	Media	Alto	Medio	90	No
200	Alta	Alto	Medio	85	No
250	Alta	Alto	Medio	75	No
300	Alta	Alto	Medio	50	No

3.3.2. Pruebas de integración

Para realizar pruebas de integración se han conformado subconjuntos del sistema conformados por dos o tres elementos evaluados unitariamente y que han generado un grado aceptable de conformidad. Así mismo se han generado subprogramas que permitan el funcionamiento independiente de estos conjuntos de elementos y limiten la evaluación a puntos específicos.

Fuente de poder y elementos electrónicos

Se diseñó una placa que se adapta a un fuente de poder de manera que pueda entregar los voltajes adecuados a cada elemento electrónico que conforma la máquina, de esta manera se han evaluado las características de precisión de voltaje de salida, limitación de corriente, calentamiento de componentes, funcionamiento adecuado de componentes y conformidad. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 32 y se han adquirido mediante la conexión de los elementos a la fuente de poder y medición de señales de salida.

Tabla 32
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a integración de fuente de poder y elementos electrónicos

Voltaje de salida	Voltaje medido (V)	Corriente medida (A)	Elemento conectado	Calentamiento	Conformidad
5	5.0	0.6	Pantalla touch	Moderado	Si
5	5.1	1.5	Luces LED	No	Si
9	9.0	0.4	Arduino MEGA	Bajo	Si
9	9.0	0.35	Arduino UNO	Bajo	Si
12	12.1	0.5	Motor a pasos	Bajo	Si
12	11.9	1.2	Bomba de dosificación	Bajo	Si

Driver de motor y motores (motor a pasos y bombas de dosificación)

El driver de motor se acopla directamente al Arduino UNO, el cual controla a través del driver a los motores conectados en el mismo. Las características que se han tomado en cuenta para esta evaluación son tiempo de respuesta, cantidad de motores controlados, calentamiento, tiempo de encendido de motor y conformidad. Para obtener los resultados de estas pruebas se ha realizado un subprograma que controla a la vez varios motores por un tiempo determinado, se resumen la prueba en la tabla 33.

Tabla 33
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a integración de driver de motor y motores

No. de motores	Tiempo de respuesta	Tiempo de encendido (min)	Calentamiento	Conformidad
1	Alto	5	No	Si
2	Alto	5	No	Si
2	Alto	10	No	Si
3	Alto	5	Bajo	Si
3	Alto	10	Bajo	Si
4	Alto	5	Bajo	Si
4	Alto	10	Moderado	Si

Pantalla touch y Arduino MEGA

La pantalla touch se conecta directamente con el Arduino MEGA mediante comunicación serial, permitiendo que existan notificaciones de botones presionados en la pantalla que puedan leerse en el Arduino MEGA que en la máquina representa al elemento Master de control dentro de la red. Se han considerado las características de número de interacciones asociadas a una notificación, tiempo de respuesta, número de elementos que generan notificación, estabilidad de comunicación y conformidad. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 34 y se han adquirido mediante el programa HMI de la pantalla asociado a un subprograma en el Arduino Mega que genera mensajes al recibir cada notificación.

Tabla 34
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a integración de pantalla touch y Arduino MEGA

No. de interacciones	Tiempo de respuesta	No. de elementos	Estabilidad de comunicación	Conformidad
3	Alta	1	Estable	Si
7	Alta	4	Estable	Si
12	Alta	8	Estable	Si
17	Alta	12	Estable	Si
22	Alta	16	Estable	Si

3.3.3. Pruebas de funcionalidad

Interfaz Humano-Máquina.

El HMI de la máquina ha sido diseñado para que sea fácil de usar y fácil de aprender, sin embargo esta característica debe ser evaluada en conjunto con otras especificaciones como número de interacciones para dosificación, calidad de diseño, tiempo de respuesta y conformidad. Se ha puesto a prueba a este sistema con lo que se obtienen los resultados resumidos en la tabla 35.

Tabla 35
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a funcionalidad de HMI

Especificación	Resultado	Conformidad
Fácil de usar	Medio	Si
Fácil de aprender	Alto	Si
Número de interacciones para primera dosificación	3	Si
Calidad de diseño	Alto	Si
Tiempo de respuesta	Alto	Si
Manejo de variables	Adecuado	Si
Satisfacción de usuario	Alto	Si

Sistema de dosificación.

El sistema de dosificación se compone del mecanismo de movimiento de soporte de vaso y de las bombas de dosificación instaladas. Se han considerado las características de velocidad de respuesta, precisión de dosificación, tiempo de dosificación, tiempo de movimiento lineal y conformidad, los resultados obtenidos se resumen en la tabla 36.

Tabla 36
Resultados obtenidos de pruebas realizadas a funcionalidad de sistema de dosificación

Especificación	Resultado	Conformidad
Tiempo de respuesta	Medio	No
Tiempo de dosificación	Medio	Si
Tiempo de movimiento	Medio	Si
Precisión de dosificación	Alto	Si
Satisfacción de usuario	Alto	Si

3.3.4. Pruebas de conjunto

Una vez que el sistema se ha armado completamente se han realizado pruebas de funcionamiento de la máquina para comprobar la comunicación entre maestros y esclavos, optimización de proceso, tiempo de dosificación, precisión, repetibilidad, calidad de diseño, minimización de cableado suelto y conformidad. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 37.

Tabla 37
Resultados obtenidos de pruebas en conjunto del sistema

Especificación	Resultado	Conformidad
Comunicación	Medio	No
Optimización de proceso	Alta	Si
Tiempo de dosificación	Alta	Si
Precisión	Alta	Si
Repetibilidad	Alta	Si
Calidad de diseño	Alta	Si
Cableado suelto	Media	Si

3.4. Análisis de resultados

3.4.1. Pruebas unitarias

Las pruebas unitarias realizadas determinaron que los componentes móviles como el motor a pasos y las bombas peristálticas se desarrollan adecuadamente en su respectivo proceso, de igual forma el dispositivo touch en el que se representa el HMI diseñado presenta un funcionamiento adecuado, de esta manera estos dispositivos pueden combinarse para realizar pruebas más complejas como pruebas de integración y de conjunto. Los elementos LED tienen un problema de funcionamiento ya que pasadas las 100 unidades no tienen un encendido continuo de los LED que conforman la tira, sin embargo en el diseño se ha considerado que la tira de leds alcanzaría una cantidad máxima de 90 luces por lo que no hubo mayor problema con el bajo desempeño de los LED restantes.

3.4.2. Pruebas de integración

Fuente de poder y elementos electrónicos

Durante las pruebas de funcionamiento de este conjunto de elementos, se observó que la pantalla genera calentamiento en el regulador de voltaje utilizado para convertir esta señal de salida a los 5V necesarios para encender la pantalla touch. Por este motivo es necesario utilizar un disipador de calor para evitar un sobrecalentamiento de este componente y prescindir de futuros problemas con la alimentación.

Driver de motor y motores (motor a pasos y bombas de dosificación)

Durante esta prueba se pudo observar que el funcionamiento de los drivers es adecuado frente a la carga expuesta por los motores encendidos, se observó que existe un calentamiento del driver al mantener encendidos motores por un tiempo considerable, sin embargo durante el proceso los motores tendrán un tiempo máximo de funcionamiento de 20 segundos y funcionará uno a la vez de acuerdo al proceso establecido.

Pantalla táctil y Arduino MEGA

Se puede observar en los resultados obtenidos de estas pruebas, que los elementos de control en conjunto trabajan adecuadamente y mantienen una comunicación estable durante el proceso, estos resultados permitirán continuar con el proceso de ensamble e integración de componentes en un solo sistema.

3.4.3. Pruebas de funcionalidad

Interfaz Humano-Máquina.

En esta etapa de pruebas se pudo observar que existe un nivel de facilidad de manejo de HMI moderado debido a que existen íconos personalizados a los cuales el usuario tendría que acostumbrarse, sin embargo el nivel de aprendizaje de funcionamiento es alto por lo que no existen muchas interacciones para generar un resultado del proceso.

Sistema de dosificación.

Los resultados de estas pruebas permitieron observar que existe un tiempo de respuesta lento del sistema, esto se modificó mediante la corrección de líneas de código que generaban esperas amplias de tiempo y que detenían la continuidad del proceso.

Pruebas de conjunto

Mediante las pruebas de conjunto se pudo determinar que la comunicación tenía ciertas fallas ya que en los elementos esclavos se recibía información basura, la corrección de líneas de código en las que se disminuyó la velocidad de transmisión y

se eliminó tiempos muertos pudo alcanzar tiempos adecuados de respuesta de comunicación y por lo tanto un desarrollo óptimo del sistema.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- A través del uso de herramientas de software de simulación mecánica se ha diseñado una estructura simple pero que cumple con las especificaciones tanto de funcionamiento robusto, como de mantenimiento de estética.
- Mediante una lógica de programación estructurada se han manejado las diferentes variables que intervienen en el sistema, de igual forma se ha mantenido un control adecuado de los dispositivos obteniéndose un funcionamiento integral óptimo.
- Mediante el uso del bus de comunicaciones en serie *Inter-Integrated Circuit*, se ha logrado un control conveniente de los dispositivos esclavos como son la pantalla touch, y Arduinos UNO, mismos que intervienen directamente en el proceso de dosificación.
- El diseño de una interfaz gráfica permite una comunicación adecuada entre el usuario y el sistema de dosificación, con este punto se ha logrado que el nivel de satisfacción del usuario aumente debido a que existen menos interacciones para obtener un resultado lo que concluye en un manejo sencillo de la máquina.
- A pesar de que el uso de la máquina es de carácter intuitivo, se ha desarrollado un manual de usuario, el cual permite conocer el funcionamiento adecuado del sistema durante el proceso de dosificación.
- La fabricación del sistema automático de dosificación de bebidas, da a conocer que los temas de innovación en los que se aplica la carrera de Ingeniería Mecatrónica son diversos, y que mediante la resolución correcta

de problemas de diseño, se pueden obtener productos competitivos basados en tecnología actual.

4.2.Recomendaciones

- El material de la polea dentada acoplada al eje del motor a pasos es de aluminio y el uso de prisioneros desgasta la rosca manufacturada en dicha polea por lo que se recomienda cambiar el material de ésta por un acero fácil de maquinar.
- Con la finalidad de rediseñar un sistema más compacto se recomienda el uso de otras bombas peristálticas que tengan menores dimensiones, de igual forma el uso de un único Arduino en conjunto con un shield de relés evitaría la acumulación de controladores en el sistema, reduciendo el espacio necesario para el proceso.
- Eventualmente se ha modificado tapones de laboratorio como elementos de contención de líquidos en las respectivas botellas de licor, este método funciona pero con el fin de mejorar la presentación de la máquina se recomienda la fabricación de tapones personalizados en caucho de nivel alimenticio, lo que permitirá también una mejor adaptación a cada una de las botellas.
- Para lograr una mayor velocidad de movimiento del soporte de vasos se recomienda el uso de un motor a pasos que tenga un factor de grados por paso más amplio, sin embargo esto podría causar una menor precisión en el posicionamiento del vaso a lo largo del eje de la trayectoria.
- Se debe considerar que, si es necesario un cambio de bomba peristáltica, ésta podría tener una diferente velocidad de dosificación, por esta razón se recomienda verificar mediante un subprograma el volumen dosificado por la bomba en un espacio de tiempo determinado.

BIBLIOGRAFÍA

- 4D Systems. (2014). *Productos > uLCD-70DT*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de 4D Systems Turning Technology into Art:
<http://www.4dsystems.com.au/product/uLCD-70DT/>
- ARDUINO. (2015). *Home*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de ARDUINO:
<http://www.arduino.cc/>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (Novena ed.). New York, Estados Unidos: McGraw Hill. Recuperado el 2 de Noviembre de 2014
- Cortizo Rodríguez, J. L. (2004). *Elementos de máquinas. Teoría y Problemas*. Asturias: Universidad de Oviedo. Recuperado el 12 de Mayo de 2015
- Creus Solé, A. (2011). *Neumática e Hidráulica* (Segunda ed.). Barcelona, España: Marcombo. Recuperado el 2 de Noviembre de 2014
- Dinámica Distribuciones S.A. (2010). *Productos: Transmisión de potencia*. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de DINAMICA:
<http://www.dinamica.net/es/productos/transmision-de-potencia/correas/correas-dentadas>
- Direct Industry. (2015). *Productos > Transmisión Mecánica > Polea para correas dentadas*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de Direct Industry:
<http://www.directindustry.es/prod/martin-sprocket-gear/poleas-correa-dentada-9091-37893.html>
- Ebel, F., Idler, S., Prede, G., & Scholz, D. (2008). *Fundamentos de la Técnica de Automatización*. Festo Didactic. Recuperado el 02 de Noviembre de 2014
- Grey Beard Pumps. (2015). *Grey Beard Pumps*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de www.greybeardpumps.com/Models.php
- Marín, J. M. (2008). *Apuntes de Diseño de Máquinas* (Segunda ed.). Alicante: Editorial Club Universitario. Recuperado el 12 de Mayo de 2015
- Millán, S. (s.f.). *Automatización Neumática y Electroneumática*. Biblioteca Técnica Norgren. Recuperado el 2 de Noviembre de 2014
- Muhammad H., R. (2004). *Electrónica de Potencia* (Tercera ed.). Mexico: Pearson Educación. Recuperado el 2 de Noviembre de 2014
- Pallás, R., & Webster, J. (2001). *Sensors and Signal Conditioning*. New York: Interscience Publication. Recuperado el 2 de Noviembre de 2014

- Pineda S., M., & Perez C., J. (2006). *Automatización de Maniobras Industriales mediante Autómatas Programables*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 2 de Noviembre de 2014
- SKF. (2015). *Rodamientos lineales de bolas LBBR*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de SKF: <http://www.skf.com/es/products/linear-motion/linear-guides-and-tables/linear-ball-bearings/linear-ball-bearing-lbbr/index.html>
- Spellman, F. R. (2009). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. Boca Raton: CRC Press. Recuperado el 10 de Marzo de 2015
- Ulrich T., K., & Eppinger D., S. (2012). *Diseño y desarrollo de productos* (Quinta ed.). Mexico: McGraw Hill/Interamericana Editores. Recuperado el 2 de Noviembre de 2014
- Vargas Soto, J. E. (s.f.). *INGENIERÍA EN MECATRÓNICA (UPIITA-IPN)*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2014, de D-FLORES WIKIDOT SITE: <http://d-flores.wdfiles.com/local--files/tareas/Lectura-1.pdf>

ANEXOS

A1: PROGRAMACIÓN DE ARDUINO MASTER

A2: PROGRAMACIÓN DE ARDUINOS SLAVES

A3: RESULTADOS DE PRUEBSA DE DOSIFICACIÓN DE BOMBAS

A4: PLANOS MECÁNICOS

A5: MANUAL DE USUARIO

A6: CARTA DE CONFORMIDAD