



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 Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO
INSTRUMENTAL: PIPETeadOR CUANTIFICABLE Y
VARIABLE EN VOLUMEN**

**AUTOR: PAILLACHO CORREDORES, JONATHAN
SALVADOR**

**DIRECTOR: ING. TERNEUS PÁEZ, CARLOS FRANCISCO
Msc.**

SANGOLQUÍ

2017



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Certifico que el trabajo titulado, “**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO INSTRUMENTAL: PIPETEADOR CUANTIFICABLE Y VARIABLE EN VOLUMEN**”, realizado por el señor **JONATHAN SALVADOR PAILLACHO CORREDORES**, ha sido guiado y revisado en su totalidad, cumpliendo con las normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **JONATHAN SALVADOR PAILLACHO CORREDORES** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 12 de junio del 2017

Ing. Francisco Terneus
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JONATHAN SALVADOR PAILLACHO CORREDORES**, con cédula de identidad N° 1718907874, declaro que el trabajo de titulación “**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO INSTRUMENTAL: PIPETeador CUANTIFICABLE Y VARIABLE EN VOLUMEN**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 12 de junio del 2017

Jonathan Salvador Paillacho Corredores

C.C. 1718907874



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **JONATHAN SALVADOR PAILLACHO CORREDORES**, autorizó a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO INSTRUMENTAL: PIPETEADOR CUANTIFICABLE Y VARIABLE EN VOLUMEN”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 12 de junio del 2017

Jonathan Salvador Paillacho Corredores

C.C. 1718907874

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, Yolanda y Salvador, por haberme brindado su apoyo incondicional e infinito amor durante toda mi vida. Por siempre haber depositado su confianza en cada paso que doy en la vida, para ser un hombre de bien. A mis sobrinitas, Romi y Sofi, por haber llegado a mi vida, para darme motivación e incentivo a cumplir todas mis metas y sueños.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios y a la Virgen del Quinche, que me dieron la sabiduría y fortaleza para nunca rendirme, sin importar las adversidades, saliendo siempre adelante para culminar esta etapa en mi vida.

A mi madre Yolanda, que con su inmenso cariño y amor, me ayudó a luchar por mis sueños y metas que he alcanzado en esta vida. A mi padre Salvador, por apoyarme y confiar en mí, para superarme día tras día. Les quedaré eternamente agradecido por todo lo que hicieron por mí, gracias por todo.

A mi hermano Geovanny, por haberme brindado su apoyo y consejos. A mi hermano Darwin, por siempre darme palabras de aliento y muchos ánimos, para ayudarme a superar los desafíos en mi vida, y haberme regalado dos nenas que llegaron para llenar de alegría y felicidad a la familia, Romi y Sofi.

A toda mi familia, que siempre estuvieron pendiente de mí y me brindaron su cariño y bendiciones en mi vida.

A mis compañeros y amigos, por todos los buenos momentos vividos y con los que compartí muchas experiencias de vida, que hicieron de esta etapa universitaria una experiencia inolvidable. A Juan Andrés, por ser un amigo incondicional, y haberme ayudado en todo momento en mi vida universitaria y en la realización de este proyecto.

A todos los docentes de la universidad que me impartieron sus conocimientos para mi vida profesional y a la ESPE, que me vio crecer y culminar este sueño.

Y por último, pero no menos importante, a mi abuelito Nicolás, que desde el cielo me protege y me cuida en todo momento. Él fue, es y será un motor para mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación e importancia.....	3
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Alcance	6
1.6 Estructura de Documento	6
CAPÍTULO 2.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Material instrumental para volumen en líquidos.....	7
2.1.1 Clasificación del material de laboratorio volumétrico.....	8
2.1.1.1 Matraz.....	8
2.1.1.2 Bureta.....	10
2.1.1.3 Probeta.....	10
2.1.1.4 Vaso de precipitación	11
2.1.1.5 Pipeta	12
2.2 Métodos y sensores para la medición de volumen en líquidos.....	14
2.2.1 Manejo de pipetas	15
2.2.1.1 Llenado de pipetas	15
2.2.1.2 Vaciado de pipetas	15
2.2.1.3 Ajuste para pipetas tipo ‘in’	16

2.2.2	Auxiliares de pipeteado	17
2.2.2.1	Auxiliares de pipeteado manuales	17
2.2.2.2	Auxiliares de pipeteado a motor	19
2.2.3	Sensores para la medición de volumen en líquidos	21
2.2.3.1	Sensor ultrasónico	21
2.2.3.2	Sensor capacitancia	23
2.2.3.3	Interruptor de flotador	24
2.2.3.4	Sensor de presión.....	25
2.3	Densidad de sustancias utilizadas en los laboratorios de Biotecnología.....	27
2.3.1	Densidad en líquidos.....	27
2.3.1.1	Método del picnómetro	28
2.3.1.2	Método de la probeta.....	28
2.3.1.3	Método del principio de Arquímedes	29
2.3.2	Densidad de soluciones	30
2.4	Métodos de control	31
2.4.1	Controladores en sistemas industriales.....	31
2.4.2	Tipos de métodos de control	31
2.4.2.1	Acción de control de dos posiciones (on/off)	31
2.4.2.2	Acción de control proporcional.....	32
2.4.2.3	Acción de control Integral	33
2.4.2.4	Acción de control Proporcional-integral	33
2.4.2.5	Acción de control Proporcional-derivada	34
2.4.2.6	Acción de control Proporcional-integral-derivativa.....	35
2.4.2.7	Sistemas de control avanzado.....	35
CAPITULO 3.....		38
DISEÑO DEL PROTOTIPO INSTRUMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS.....		38
3.1	Diseño de los Componentes eléctricos y/o electrónicos.....	38
3.1.1	Requerimientos y selección de componentes	38
3.1.2	Componentes eléctricos.....	39
3.1.2.1	Batería	39
3.1.2.2	Comunicación inalámbrica.....	40

3.1.3	Dimensionamiento y selección de sensores y actuadores.	41
3.1.3.1	Selección del sensor.....	41
3.1.3.2	Selección del sistema de aspiración.....	44
3.1.4	Microcontrolador.....	56
3.2	Diseño de los componentes mecánicos.....	57
3.2.1	Diseño del mecanismo de adaptación a la pipeta.	58
3.2.1.1	Sujeción del sensor.	58
3.2.1.2	Tubería	59
3.2.1.3	Soporte de silicona	60
3.2.1.4	Filtro.....	61
3.2.2	Diseño mecánico de la estructura de protección para el equipo instrumental.	62
3.2.2.1	Cilindros de soporte.....	66
3.2.2.2	Roscado macho para embudo.....	67
3.2.2.3	Roscado hembra para tornillos	70
3.3	Diseño para la placa y sistema del control.....	72
3.3.1	Placa de control.....	72
3.3.1.1	Acondicionamiento de señal de sensor	72
3.3.1.2	Circuito para el funcionamiento del sistema de aspiración	75
3.3.1.3	Circuito para el funcionamiento sensor-microcontrolador..	78
3.3.1.4	Circuito final y diseño placa PCB.....	78
3.3.2	Obtención de la ecuación del sistema.....	79
3.3.3	Interpretación de las lecturas del sensor.....	79
3.3.4	Modelamiento matemático	81
3.3.5	Modelamiento de la ecuación de forma digital	83
3.4	Diseño del software	83
3.4.1	Diseño de la Interfaz Humano Máquina (HMI)	83
CAPITULO 4.....		86
IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO INSTRUMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS.....		86
4.1	Implementación de los Componentes eléctricos y/o electrónicos... ..	86
4.1.1	Implementación de sensores y actuadores	86
4.1.1.1	Implementación del sistema de aspiración	86

4.1.1.2	Implementación del sensor	87
4.1.2	Implementación de placa PCB	88
4.1.3	Implementación de la batería	89
4.1.3.1	Consumo de batería cuando está activado	90
4.1.3.2	Consumo de batería cuando está en reposo.....	90
4.2	Implementación de los componentes mecánicos	91
4.2.1	Implementación de los mecanismos de adaptación a la pipeta	91
4.2.1.1	Sujeción del sensor	91
4.2.1.2	Tubería	92
4.2.1.3	Filtro.....	92
4.2.1.4	Soporte de silicona	93
4.2.2	Implementación de la estructura de protección para el equipo instrumental.	93
4.3	Implementación y pruebas del sistema del Control	97
4.3.1	Sensado de la presión interna de la pipeta	98
4.3.1.1	Recepción de datos a través del puerto serial del computador	98
4.3.1.2	Pruebas de variación de la presión interna en la pipeta ..	100
4.3.2	Control de la bomba	101
4.3.2.1	Velocidad de aspiración del líquido	101
4.3.2.2	Velocidad de expulsión del líquido.....	102
4.3.3	Control de las válvulas solenoides	103
4.3.3.1	Control para aspiración del líquido	103
4.3.3.2	Control para bloqueo del líquido	104
4.3.3.3	Control para expulsión de líquido	105
4.3.4	Ecuación de control.....	106
4.3.4.1	Modelamiento de la ecuación para una pipeta de 5 ml....	107
4.3.4.2	Modelamiento de la ecuación para una pipeta de 10 ml..	109
4.3.4.3	Modelamiento de la ecuación para una pipeta de 25 ml..	111
4.4	Implementación del software.	113
4.4.1	Implementación de la Interfaz Humano Máquina (HMI).	113
4.4.1.1	Pantalla Principal	113
4.4.1.2	Botón Conectar.....	114

4.4.1.3	Botón Cantidad de Volumen	116
4.4.1.4	Medida de Pipeta	117
4.4.1.5	Velocidad de Descarga	118
4.4.1.6	Botón Cargar	119
4.4.1.7	Botón Limpiar.....	121
4.5	Funcionamiento en conjunto del sistema de control	122
4.5.1	Modo Manual	122
4.5.2	Modo Automático	124
CAPITULO 5.....		129
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		129
5.1	Pruebas de Funcionamiento del Sistema	129
5.1.1	Sistema de aspiración y expulsión	129
5.1.1.1	Estado de aspiración	129
5.1.1.2	Estado de expulsión	130
5.1.1.3	Estado de bloqueo.....	130
5.1.2	Placa principal PCB.....	131
5.2	Pruebas de exactitud y reproducibilidad	132
5.2.1	Pruebas en pipeta de 5 ml	134
5.2.1.1	Modo manual en pipeta de 5 ml.....	134
5.2.1.2	Modo automático en pipeta de 5 ml.....	135
5.2.2	Pruebas en pipeta de 10 ml	135
5.2.2.1	Modo manual en pipeta de 10 ml.....	135
5.2.2.2	Modo automático en pipeta de 10 ml.....	136
5.2.3	Pruebas en pipeta de 25 ml	137
5.2.3.1	Modo manual en pipeta de 25 ml.....	137
5.2.3.2	Modo automático en pipeta de 25 ml.....	137
5.3	Resultados de las Pruebas exactitud y reproducibilidad.....	138
5.3.1	Resultados en pipeta de 5 ml.....	138
5.3.1.1	Resultados modo manual en pipeta de 5 ml.....	138
5.3.1.2	Resultados modo automático en pipeta de 5 ml.....	139
5.3.2	Resultados en pipeta de 10 ml.....	139
5.3.2.1	Resultados modo manual en pipeta de 10 ml.....	139

5.3.2.2	Resultados modo automático en pipeta de 10 ml.....	140
5.3.3	Resultados en pipeta de 25 ml.....	141
5.3.3.1	Resultados modo manual en pipeta de 25 ml.....	141
5.3.3.2	Resultados modo automático en pipeta de 25 ml.....	142
5.4	Validación de las Pruebas de exactitud y reproducibilidad	143
5.4.1	Validación en pipeta de 5 ml	143
5.4.2	Validación en pipeta de 10 ml	143
5.4.3	Validación en pipeta de 25 ml	144
5.4.4	Validación velocidades de expulsión de líquido	146
CAPITULO 6.....		147
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....		147
6.1	Análisis financiero.....	147
6.1.1	Costos Directos.....	147
6.1.2	Costos Indirectos.....	149
6.1.3	Costos de fabricación.....	150
6.1.4	Costos totales	150
6.2	Análisis Económico.....	151
6.2.1	Valor Actual Neto (VAN).....	151
6.2.2	Tasa Interna de Retorno (TIR)	151
6.2.3	Relación Beneficio Costo (B/C).....	151
CAPITULO 7.....		153
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		153
7.1	Conclusiones	153
7.2	Recomendaciones	154
BIBLIOGRAFÍA.....		156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones técnicas sensor LPS22HB.....	42
Tabla 2	Terminología I ² C	42
Tabla 3	Medida y presión para pipeta de 5 ml	107
Tabla 4	Medida y presión para pipeta de 10 ml.....	109
Tabla 5	Medida y presión para pipeta de 25 ml.....	111
Tabla 6	Funcionalidad de estado de aspiración.....	129
Tabla 7	Funcionalidad estado de expulsión.....	130
Tabla 8	Funcionalidad estado de bloqueo	130
Tabla 9	Funcionalidad de la placa principal PCB.....	131
Tabla 10	Medición en pipeta de 5 ml en modo manual.....	134
Tabla 11	Medición en pipeta de 5 ml en modo automático.....	135
Tabla 12	Medición en pipeta de 10 ml en modo manual.....	136
Tabla 13	Medición en pipeta de 10 ml en modo automático.....	136
Tabla 14	Medición en pipeta de 10 ml en modo manual.....	137
Tabla 15	Medición en pipeta de 25 ml en modo automático.....	138
Tabla 16	Resultados en pipeta de 5 ml en modo manual	138
Tabla 17	Resultados en pipeta de 5 ml en modo automático	139
Tabla 18	Resultados en pipeta de 10 ml en modo manual	140
Tabla 19	Resultados en pipeta de 10 ml en modo automático	140
Tabla 20	Resultados en pipeta de 25 ml en modo manual	141
Tabla 21	Resultados en pipeta de 25 ml en modo automático	142
Tabla 22	Validación del modo manual en pipeta de 5 ml.....	143
Tabla 23	Validación del modo automático en pipeta de 5 ml.....	143
Tabla 24	Validación del modo manual en pipeta de 10 ml.....	144
Tabla 25	Validación del modo automático en pipeta de 10 ml.....	144
Tabla 26	Validación del modo manual en pipeta de 25 ml.....	145
Tabla 27	Validación del modo automático en pipeta de 25 ml.....	145
Tabla 28	Validación de las velocidades de expulsión de líquido	146
Tabla 29	Costos de componentes mecánicos	147
Tabla 30	Costos de componentes eléctricos y electrónicos	148
Tabla 31	Costos de Accesorios eléctricos y electrónicos	148
Tabla 32	Costos de materiales directos totales	148
Tabla 33	Costos de Materiales Indirectos.....	149
Tabla 34	Costos de mano de obra indirecta	149
Tabla 35	Costos operativos	150
Tabla 36	Costos indirectos totales	150
Tabla 37	Costos de fabricación y ensamblaje.....	150
Tabla 38	Costos indirectos totales	151
Tabla 39	Flujo de caja proyectado para 5 años	152
Tabla 40	Análisis económico	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pipetboy Pro.	2
Figura 2 Safetypette.....	3
Figura 3 Matraces aforados	9
Figura 4 Matraces Erlenmeyer de 100 y 250 ml.	9
Figura 5 Bureta de 25 ml	10
Figura 6 Probetas de diferentes tamaños	11
Figura 7 Vasos de precipitados de vidrio	12
Figura 8 Pipetas aforadas de distintos tamaños	13
Figura 9 Pipetas graduadas de varios tamaños.....	13
Figura 10 Micropipeta	14
Figura 11 Pipeta graduada, volumen nominal arriba.	15
Figura 12 Proceso de llenado y vaciado de una pipeta.	16
Figura 13 Proceso de llenado y vaciado de una pipeta tipo 'in'.	16
Figura 14 Proceso de manejo de una pera manual.	18
Figura 15 Proceso de manejo de un auxiliar de pipeteado manual.	19
Figura 16 Pipeteador Accu-jet pro de BRAND.....	20
Figura 17 Pipeteador Pipetboy Pro.....	20
Figura 18 Sensor ultrasónico sin contacto.....	21
Figura 19 Funcionamiento del sensor Echotel 300.....	22
Figura 20 Control de nivel ultrasónico mediante un sensor FLOWLINE SwitchTek.	23
Figura 21 Aplicaciones típicas de los sensores capacitivos (KAS)	23
Figura 22 Sensor de nivel capacitivo para tanque IP67.....	24
Figura 23 Interruptor de nivel de flotador magnético para líquido.....	25
Figura 24 Tipos de presión.	25
Figura 25 Sensor de presión para equipos médicos.....	26
Figura 26 Tabla de conversión de unidades de presión.	27
Figura 27 Estructura del control avanzado.	28
Figura 28 Método de la probeta.....	29
Figura 29 Método del principio de Arquímedes.....	30
Figura 30 Densidad de varias sustancias en condiciones estándar (0°C y 1 atm).....	31
Figura 31 Diagrama de bloque del controlador on/off.....	32
Figura 32 Diagrama de bloque del controlador proporcional.	32
Figura 33 Diagrama de bloque del controlador integral.	33
Figura 34 Diagrama de bloque del controlador proporcional-integral.	34
Figura 35 Diagrama de bloque del controlador proporcional-derivativo.....	34
Figura 36 Diagrama de bloque del controlador proporcional-integral- derivativo.....	35
Figura 37 Estructura del control avanzado.	36

Figura 38 Batería LiPo	40
Figura 39 Módulo Bluetooth	41
Figura 40 Sensor LPS22HB.....	42
Figura 41 Diagrama comunicación I2C.....	43
Figura 42 Partes de un Pipeteador	44
Figura 43 Bomba de membrana	45
Figura 44 Mecanismo para realizar el bombeo.....	46
Figura 45 Membrana de la bomba	46
Figura 46 Solenoide energizado	47
Figura 47 Funcionamiento de la válvula solenoide	48
Figura 48 Válvula solenoide.....	49
Figura 49 Circuito neumático	50
Figura 50 Esquema de conexión eléctrica	50
Figura 51 Circuito neumático y de conexión eléctrica.....	51
Figura 52 Lógica de programación	51
Figura 53 Funcionamiento del circuito neumático.....	52
Figura 54 Esquema de conexión eléctrica	52
Figura 55 Circuito neumático y de conexión eléctrica.....	53
Figura 56 Funcionamiento del circuito neumático.....	53
Figura 57 Esquema de conexión eléctrica	54
Figura 58 Circuito neumático y de conexión eléctrica.....	54
Figura 59 Funcionamiento del circuito neumático.....	55
Figura 60 Esquema de conexión eléctrica	55
Figura 61 Circuito neumático y de conexión eléctrica.....	56
Figura 62 Arduino Nano.....	57
Figura 63 Modelamiento del acople	58
Figura 64 Análisis dinámico	59
Figura 65 Manguera de silicona.....	60
Figura 66 Soporte de silicona	61
Figura 67 Filtro.....	62
Figura 68 Estructura de protección	62
Figura 69 Lado izquierdo interior	63
Figura 70 Lado izquierdo exterior	64
Figura 71 Lado derecho interior.....	64
Figura 72 Lado izquierdo exterior	65
Figura 73 Análisis dinámico en el mango de la estructura.....	65
Figura 74 Cilindros de soporte	66
Figura 75 Análisis dinámico	66
Figura 76 Análisis de desplazamiento	67
Figura 77 Roscado.....	67
Figura 78 Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino.....	68
Figura 79 Perfil de corte neto para rosca macho.....	69

Figura 80 Perfil roscado.....	70
Figura 81 Perfil de corte neto para rosca hembra.....	71
Figura 82 Perfil roscado.....	72
Figura 83 Esquema del sensor	73
Figura 84 Asignación de las funciones de cada PIN.....	73
Figura 85 Conexión eléctrica del sensor	74
Figura 86 STEVAL-MET001V1	74
Figura 87 Esquema del circuito.....	75
Figura 88 Conexión de un transistor NPN	76
Figura 89 Esquema del transistor	77
Figura 90 Esquema del transistor	78
Figura 91 Esquema de la placa para el sensor.....	78
Figura 92 Esquema total de la placa PCB	79
Figura 93 Flujo de datos del sensor de presión de analógico a digital.....	80
Figura 94 Orden de Bits de adquisición	80
Figura 95 Ecuación para valor de presión en formato decimal	81
Figura 96 Ecuación para valor de presión real	81
Figura 97 Nivel de líquido y presión en la pipeta	82
Figura 98 Diseño de la interfaz humano máquina.....	84
Figura 99 Diseño de la programación para la interfaz	84
Figura 100 Sistema de aspiración.....	87
Figura 101 Placa PCB del sensor.....	88
Figura 102 Reverso Placa PCB del sensor.....	88
Figura 103 Placa PCB Principal.....	89
Figura 104 Reverso placa PCB Principal.....	89
Figura 105 Unión del acople con el sensor.....	92
Figura 106 Tubería junto con la válvula solenoide.....	92
Figura 107 Unión del filtro.....	93
Figura 108 Unión del soporte de silicona.....	93
Figura 109 Prototipado del lado izquierdo interior.....	95
Figura 110 Prototipado del lado izquierdo exterior.....	95
Figura 111 Prototipado del lado derecho interior	96
Figura 112 Prototipado del lado derecho exterior	96
Figura 113 Compartimiento de la batería.....	97
Figura 114 Embudo	97
Figura 115 Inicialización de direcciones de memoria.....	98
Figura 116 Programación del void setup()	99
Figura 117 Programación para la adquisición del dato PressOut_XL.....	99
Figura 118 Programación para la obtener el valor de presión	100
Figura 119 Visualización de datos de presión a través del puerto serial ...	100
Figura 120 Visualización de datos presión variada a través del puerto serial	101

Figura 121 Modulación del ancho de pulso	102
Figura 122 Disposición de elementos	104
Figura 123 Programación para la aspiración	104
Figura 124 Disposición de elementos	105
Figura 125 Programación para el bloqueo	105
Figura 126 Disposición de elementos	106
Figura 127 Programación para la expulsión	106
Figura 128 Gráfico lineal de medida contra presión 5 ml.....	108
Figura 129 Linealización de datos 5 ml.....	108
Figura 130 Gráfico lineal de medida contra presión.....	110
Figura 131 Linealización de datos	110
Figura 132 Gráfico lineal de medida contra presión.....	112
Figura 133 Linealización de datos	112
Figura 134 Localización del programa instalado.....	113
Figura 135 Pantalla principal.....	114
Figura 136 Conexión de la interfaz	115
Figura 137 Desconexión de la interfaz.....	115
Figura 138 Lista cantidad de volumen	116
Figura 139 Visualización de la cantidad de volumen en la pantalla principal	117
Figura 140 Lista medida de pipeta	117
Figura 141 Visualización de medida de pipeta en la pantalla principal.....	118
Figura 142 Lista velocidad de descarga	119
Figura 143 Visualización de la velocidad de descarga en la pantalla principal	119
Figura 144 Visualización de valores seleccionados en pantalla principal ..	120
Figura 145 Mensaje Enviado	120
Figura 146 Mensaje Error	121
Figura 147 Botón Limpiar.....	121
Figura 148 Disposición de los switch	122
Figura 149 Esquema de funcionamiento del modo manual.....	123
Figura 150 Programación del modo manual	124
Figura 151 Diagrama de flujo para control de cantidad de volumen del líquido	126
Figura 152 Diagrama de flujo del control de velocidad de descarga.....	127
Figura 153 Representación gráfica de precisión y exactitud.....	132
Figura 154 Error máximo permitido para medidas de volumen variable (pipetas graduadas)	133
Figura 155 Equipo con sus pipetas de prueba.....	134
Figura 156 Comparación de porcentajes entre prueba manual y automático	139

Figura 157 Comparación de porcentajes entre prueba manual y automático	
.....	141
Figura 158 Comparación de porcentajes entre prueba manual y automático	
.....	142

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre la cuantificación de volumen de líquidos, por medio de un prototipo instrumental pipeteador. Diseñado con una estructura de protección, en la cual se adaptan todos los componentes mecánicos y electrónicos. En su interior posee compartimientos modulares, para que cada componente ocupe un lugar específico, facilitando su ensamblaje. Posee un sensor de presión absoluta, LPS22HB, que permite sensar la presión interna que se genera en la pipeta por la entrada o salida del volumen de líquido, mediante comunicación I2C hacia el microcontrolador. Se utiliza un sistema de aspiración y expulsión del líquido, mediante el accionamiento de una bomba de membrana y válvulas solenoides de 3/2 vías, que permiten el ingreso, bloqueo o salida del líquido, a través de dos modos de operación, el modo manual y automático. El sistema es controlado por dos pulsadores, uno que permite aspirar el líquido, hasta una medida de volumen deseada por el usuario, y el otro pulsador expulsa el líquido, contenido dentro de la pipeta. El modo automático trabaja con los datos de presión, que ingresan como variables en una ecuación de control, para que pueda controlar la cantidad de volumen del líquido en la pipeta. Y además las opciones de control están implementadas en una interfaz humano máquina (HMI), controlada a través de un dispositivo móvil con plataforma Android, que envía los datos mediante la tecnología Bluetooth emparejada al prototipo instrumental pipeteador, para acceder a las funciones de cantidad de volumen, medida de pipeta y velocidad de descarga del líquido contenido en la pipeta.

Palabras claves:

- **PIPETEADOR**
- **PRESIÓN**
- **CONTROL**
- **COMUNICACIÓN I2C**

ABSTRACT

The present project deals with the quantification of volume of liquids, by means of an instrumental prototype pipettor. Designed with a protection structure, in which all mechanical and electronic components are adapted. Inside it has modular compartments, so that each component occupies a specific place, facilitating its assembly. It has an absolute pressure sensor, LPS22HB, which allows to sense the internal pressure that is generated in the pipette by the input or output of the liquid volume, by I2C communication to the microcontroller. A system of suction and expulsion of the liquid is used, by means of the operation of a membrane pump and 3/2-way solenoid valves that allow the entrance, blocking or exit of the liquid, through two modes of operation, the manual and automatic mode. The system is controlled by two pushbuttons, one that allows the aspiration of the liquid, to a volume desired by the user, and the other pushbutton ejects the liquid contained inside the pipette. The automatic mode works with the pressure data, which you enter as variables in a control equation, so that you can control the amount of liquid volume in the pipette. And the control options are implemented in a human machine interface (HMI), controlled through a mobile device with Android platform, which sends the data through the Bluetooth technology paired with the instrumental prototype pipettor, to access the functions of quantity of volume, pipette measurement and discharge rate of the liquid contained in the pipette.

Keywords:

- **PIPETTOR**
- **PRESSURE**
- **CONTROL**
- **I2C COMMUNICATION**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

El presente capítulo justifica la razón por la cual se diseñará un equipo instrumental pipeteador para el manejo de líquidos realizado a través de pipetas, se muestra una síntesis de la forma en que se manejan actualmente las pipetas dentro de los laboratorios y se definen los objetivos que nos ayudarán a establecer el alcance del proyecto.

1.2 Antecedentes

La Carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE promueven la investigación, educación y transferencia de tecnología para aplicaciones de la biotecnología en beneficio del medio ambiente, la agricultura, la industria y la salud humana y la sanidad animal, acorde con los adelantos científicos, tecnológicos y pedagógicos que la educación superior requiere. Están compuestos por personal altamente capacitado en investigación académica, catalizando la investigación interdisciplinaria, promoviendo iniciativas de educación y fomentando la investigación de alta calidad.

El proceso de manejo de líquidos en pipetas que se realiza actualmente en el laboratorio de biotecnología es realizado de manera manual por docentes y alumnos. La precisión de pipeteo depende de graduaciones sobre la pipeta y la capacidad para encontrar con exactitud el menisco del líquido con la marca de graduación que se requiera utilizar.

Debido a inconvenientes con respecto a exactitud y precisión de manejo de líquidos, que se presentan en laboratorios, se han desarrollado equipos de instrumentación automatizados para aumentar la precisión y eficacia en el manejo de líquidos por pipetas. Como es el caso de: Pipetboy Pro, desarrollado por la empresa INTEGRRA, está diseñado para el uso de

pipetas de vidrio o plástico de 1 a 100 ml de volumen de rango. En este equipo los botones de manejo permiten configurar diferentes velocidades precisas del líquido entre 2 – 10 ml/s. La batería que posee permite hasta 8 horas de uso continuo. El valor de este equipo es de 470 euros, el costo a nivel nacional es elevado de este equipo y es importando por diferentes casa comerciales, en donde se venden materiales y equipos para laboratorios. (Integra Biosciences, 2013)



Figura 1 Pipetboy Pro.

Fuente: (Integra Biosciences, 2013)

Otro equipo que permite el manejo de líquidos es el Pipeteador de pera Safetypette, desarrollado por la empresa JENCONS, diseñado con una perilla ultracompresora de silicona que proporciona un control manual del pipeteo tanto en la aspiración como en la dispensación. Su funcionamiento es a través de la presión efectuada sobre la perilla mediante el pulgar, además se pueden controlar ambas velocidades tanto de aspiración y dispensación. Para los requerimientos de expulsión del último residuo líquido, el botón intermedio efectúa el vaciado por soplado. El valor de este equipo es de 400 euros, y no se encuentra en el mercado local una distribuidora de esta marca. (Jencons Scientific, 2011)



Figura 2 Safetypette.

Fuente: (Jencons Scientific, 2011)

El manejo de líquidos es la base en cada práctica en los laboratorios de biotecnología y la clave principal dentro de las investigaciones. Con la ayuda de un equipo instrumental automático se obtendrá optimización de procesos, aumentando la calidad y eficiencia en cada solución. Esto ayuda en el ahorro de recursos ya que se reduce el desperdicio de líquidos durante todo el proceso. Además el equipo será elaborado con un presupuesto menor a un Pipeteador que se oferte en el mercado y al ser un equipo automatizado, las opciones que manejan las distintas funciones del equipo son seteadas a través de una HMI (interfaz humano máquina), que se opera por un dispositivo móvil de plataforma Android, que se emparejará con el equipo por medio de la tecnología Bluetooth, para funcionar su forma automática.

1.3 Justificación e importancia

El manejo de líquidos realizado de forma frecuente a través de pipetas en las investigaciones o prácticas que se realizan en los laboratorios de Biotecnología tiene varios inconvenientes como: exactitud, precisión y riesgo para la salud.

Cuando se requieren hacer transferencia de líquidos de un recipiente a otro se realiza con la ayuda de las pipetas, esta trasfiere el líquido con la medida exacta que requiere mayor precisión y no haya goteo durante el

traspaso del líquido. La exactitud de la medida de líquidos es importante en este tipo de procesos debido a que si no se realiza con la cantidad de líquido exacta, la preparación será incorrecta y por lo tanto se tendrá que repetir la preparación de soluciones. Esto implica pérdida de tiempo y gasto innecesario de líquidos que están involucrados en el proceso.

La precisión es fundamental al momento de medir el líquido que se desea utilizar en el proceso, actualmente se maneja una precisión de 1 ml de líquido de error en pipetas serológicas de 25 ml, esto se produce debido a que se realiza varias veces seguidas el mismo proceso, por tal motivo es importante tener precisión para evitar derrame de líquido. Otro de los puntos más importantes es la velocidad con la que se vierte los líquidos en el proceso. Si se realiza un traspaso de líquido muy rápido sería una causa de error en el proceso de difusiones de gradientes. Por el contrario, si se vierte el líquido de una manera muy lenta podría tener una preparación errónea causando un desperdicio de líquidos. Por tal razón es necesario tener una velocidad controlada para cada tipo de ensayo, de esa manera se optimizan recursos y se mejoran los procesos.

Uno de los puntos que se debe tener más cuidado en el manejo de líquidos es la exposición a estas sustancias, de las cuales las normas de la OSHA (Occupational Safety And Health Administration) obliga a todos los productos químicos posean las hojas de datos de seguridad de los materiales (MSDS Material Safety Data Sheets) en las que informen sobre los riesgos al contacto con dichas sustancias, por tal motivo, si se deja de realizar de forma manual el manejo de líquidos y se opta por un equipo instrumental ayudaría a reducir estos riesgos, haciendo que la persona que lo opera se siente segura de realizar las prácticas.

La importancia de tener un equipo instrumental automático que ayude en el manejo de líquidos es mejorar y facilitar los recursos en trabajos de investigación y prácticas estudiantiles. Esto brindará un mayor beneficio al permitir optimizar tiempo en la preparación y mezcla de líquidos, garantizando exactitud y precisión en cada proceso.

El proyecto propuesto está dirigido al Departamento de Ciencias de la Vida, en su carrera de Ingeniería en Biotecnología, con la finalidad de presentar un equipo que ayude en el manejo de líquidos realizado a través de pipetas en los laboratorios de docencia. Este equipo será totalmente diseñado, construido y posteriormente implementado en el laboratorio de Inmunología; permitiendo realizar mediciones de volúmenes en varias sustancias líquidas, dichas medidas serán preestablecidas, con lo que facilitará la preparación de soluciones, ayudando en las labores de docencia y prácticas estudiantiles.

De esta manera se desea brindar a estudiantes y docentes mayor facilidad y seguridad en todo proceso que requiera manejo de líquidos a través de pipetas, para obtener procesos de calidad y con la garantía de haber sido realizados con la medida correcta y reduciendo el desperdicio de sustancias en todo el proceso ahorrando recursos y optimizando el tiempo de investigación y prácticas estudiantiles.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar y elaborar un prototipo instrumental pipeteador, que permita la cuantificación de volumen en líquidos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir una estructura de protección que se adapte al pipeteador y permita integrar todos los componentes electrónicos.
- Dimensionar y seleccionar los distintos sensores, controladores y actuadores usados para la adquisición y manejo de datos.
- Controlar la medida del volumen y velocidad de líquido a través de un sistema de control.
- Diseñar una interfaz humano máquina (HMI) que permita controlar las diferentes funciones que contiene el prototipo para su proceso.

1.5 Alcance

El alcance del proyecto será el diseño y la elaboración de un equipo instrumental Pipeteador automatizado que permita el manejo de líquidos. Este equipo será utilizado en el área de cultivo celular donde se manejan sustancias que no son irritantes, gaseosas o tóxicas.

1.6 Estructura de Documento

El documento consta de 7 capítulos. El primer capítulo se muestra una síntesis de la forma en que se manejan actualmente las pipetas dentro de los laboratorios, para lo cual se justifica la razón por la cual se realiza el proyecto y se definen los objetivos para establecer el alcance del mismo. El segundo capítulo trata sobre el material instrumental para volúmenes en líquidos dentro del laboratorio. Así como los métodos y sensores para la medición de volúmenes en líquidos. También explica acerca de los sistemas de control. El tercer capítulo se enfoca en el proceso de diseño tanto mecánico como electrónico, el sistema de control del equipo y la interfaz humano máquina (HMI) para las opciones de funciones del mismo. El cuarto capítulo se enfoca a la implementación de los componentes mecánicos, electrónicos y de control que fueron diseñados en el capítulo tercero. El quinto capítulo muestra los resultados obtenidos en el funcionamiento y pruebas de control del equipo. El sexto capítulo está orientado al análisis económico y financiero. En el capítulo final detalla el cumplimiento de proyecto por medio de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo da una visión de los fundamentos teóricos en que se desenvolverá el proyecto, para dar un mayor entendimiento de los capítulos siguientes. El capítulo se divide en 4 partes. La primera parte trata de los instrumentos de laboratorio que son utilizados para el manejo de líquidos, dónde se precisan las diferentes clases y funciones de instrumentos. La segunda parte trata de los métodos para la medición de volumen en líquidos que se utilizan dentro de un laboratorio, desde los métodos manuales hasta la tecnología actual donde se automatizaron estos procesos. También se habla de los sensores que son utilizados para la medición de volumen en líquidos estableciendo sus características y ventajas entre sensores. La tercera parte habla sobre los sistemas de control, donde se explican los diferentes sistemas de control que existen, sus características y ventajas. La última parte trata sobre las densidades de líquidos que se trabajan en el área de cultivos, que es el lugar donde va trabajar el equipo pipeteador.

2.1 Material instrumental para volumen en líquidos

El material volumétrico es utilizado para medir, contener y transferir volúmenes. Estos instrumentos están diseñados para contener o verter determinados volúmenes. Por ejemplo, en un instrumento como una pipeta, está preparado para verter 10 ml de líquido, estará calibrado para dispensar un volumen de 1 ml a una determinada temperatura, marcada junto con su capacidad (10 ml) en la pipeta. Cada fabricante indica en sus instrumentos las capacidades de volúmenes y su temperatura de operación. En el caso del material para contener, por ejemplo, un matraz aforado de 100 ml, el instrumento estará calibrado para que conserve un volumen específico de líquido a la temperatura establecida.

Por esta razón se deben seleccionar adecuadamente para obtener resultados confiables en los ensayos de laboratorio. Cuando se quiera realizar

una transferencia de muestras, patrones y soluciones químicas, se debe emplear material volumétrico de exactitud, para las demás operaciones es suficiente utilizar instrumentos graduados. El uso de cada instrumento depende del fabricante, con el ajuste que haya realizado.

2.1.1 Clasificación del material de laboratorio volumétrico

Dentro de un laboratorio se puede encontrar material muy diverso, por tal motivo es importante conocer su función, para que de su correcto uso.

2.1.1.1 Matraz

Recipiente de cristal, que permite la mezcla de soluciones químicas. Se divide en: aforados y graduados de vidrio.

Matraz aforado

Es un recipiente de fondo plano y con forma de pera, posee un cuello largo y delgado. Algunos matraces poseen una marca grabada alrededor del cuello que indica un cierto volumen de líquido contenido a una temperatura concreta. El cuello de este matraz es relativamente delgado, de modo que un pequeño cambio de volumen de un líquido, provocará una considerable diferencia en la altura del menisco. El error que se cometa al llevar el menisco hasta el nivel, será muy pequeño. (Martin, 2015)

Este matraz aforado se usa para preparar soluciones de concentración definida, pesando un sólido puro o líquido y llevándolo a volumen determinado. Para este proceso, primero se vierte la sustancia a un vaso una vez que ha sido pesada y se disuelve allí. Luego se vacía la solución al matraz y se agrega agua hasta que el nivel de la solución sea elevado a la base del cuello del mismo. Luego se agita el matraz para que la solución se homogenice. El ajuste final hasta el nivel se puede hacer agregando agua gota a gota con una pipeta. Los tamaños de matraces más comunes son de 25, 50, 100, 250, 500, 1000 ml. (Bortfitz, 2010)



Figura 3 Matraces aforados

Fuente: (Martin, 2015)

Matraz Graduados de vidrio

Son recipientes cónicos de base ancha y cuello delgado. Se utiliza en volumetría para hacer titulaciones, facilitando una mejor agitación del líquido y evitando pérdidas por salpicaduras. (Bortfitz, 2010)

Para mezclar disoluciones en la que, durante la mezcla, se tenga que agitar para que reaccionen más rápidamente. Por su forma, disminuye el peligro que se pueda derramar su contenido. Normalmente tiene una escala de volumen en mililitros a título de orientación. (Martin, 2015)



Figura 4 Matraces Erlenmeyer de 100 y 250 ml.

Fuente: (Martin, 2015)

2.1.1.2 Bureta

Son recipientes de forma alargada, graduados, tubulares, provistos de un extremo inferior con una llave de paso que permite regular el flujo de líquido. Se usan para descargar cantidades variables de líquido y por esta razón están graduadas con pequeñas subdivisiones. (Bortfitz, 2010)

El uso de las buretas se da en trabajos volumétricos, en los cuales se sirven para valorar disoluciones de carácter ácido o básico. El llenado de las buretas se debe realizar con un embudo especial para las mismas. El tamaño común es de 25 y 50 ml, graduados cada 0,1 ml. (Martin, 2015)

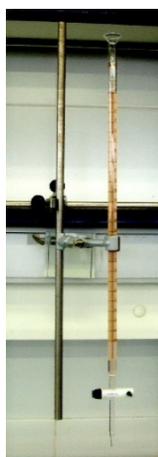


Figura 5 Bureta de 25 ml

Fuente: (Martin, 2015)

2.1.1.3 Probeta

Son recipientes cilíndricos, graduados, de boca ancha, abierta y con pico. Permiten medir volúmenes de forma aproximada, o transvasar y recoger líquidos. Se fabrican de diferentes tamaños y materiales (vidrio y plástico). Las capacidades más habituales son 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 ml. (Martin, 2015)



Figura 6 Probetas de diferentes tamaños

Fuente: (Martin, 2015)

2.1.1.4 Vaso de precipitación

Su forma es cilíndrica y se utiliza para contener líquidos o sustancias, para así poder disolverlas, calentarlas, enfriarlas. Su capacidad es variada, desde 1 ml a varios litros, y aunque están graduados no se usa para medir líquidos de una forma exacta.

Su objetivo principal es contener líquidos o sustancias químicas diversas de distinto tipo. Normalmente es utilizado para trasportar líquidos a otros recipientes. También se puede utilizar para calentar, disolver, o preparar reacciones químicas.

Los hay de distintos tamaños (50, 100, 250 y 1000 mL) y pueden ser de vidrio o de plástico. (Martin, 2015)



Figura 7 Vasos de precipitados de vidrio

Fuente: (Martin, 2015)

2.1.1.5 Pipeta

Son instrumentos utilizados para el suministro el líquido de un lugar al otro. Las pipetas poseen graduaciones o escalas que ayudan a conocer de manera exacta, la cantidad de líquido que alberga en su interior, dependiendo de su diseño. Existen de dos tipos:

Pipeta aforada

Se emplean para transferir un volumen exactamente conocido de disoluciones patrón o de muestra.

En la parte superior tienen un anillo grabado que se denomina línea de enrase. Si se llena la pipeta hasta dicha línea y se descarga apropiadamente se vierte el volumen que indique la pipeta. (Martin, 2015)

Los tamaños más comunes son: 5, 10, 20, 50 y 100 ml.



Figura 8 Pipetas aforadas de distintos tamaños

Fuente: (Martin, 2015)

Pipeta graduada

Son tubos estrechos con subdivisiones que se emplean para medir cantidades variables de líquido. El orificio de la punta de la pipeta debe tener un tamaño en la salida del líquido que no se produzca demasiado rápida, porque de otro modo se producirían errores debido a pequeñas diferencias en el tiempo de descarga. (Bortfitz, 2010)

Se usan habitualmente pipetas de: 5, 10, 25, 50 y 100 ml.

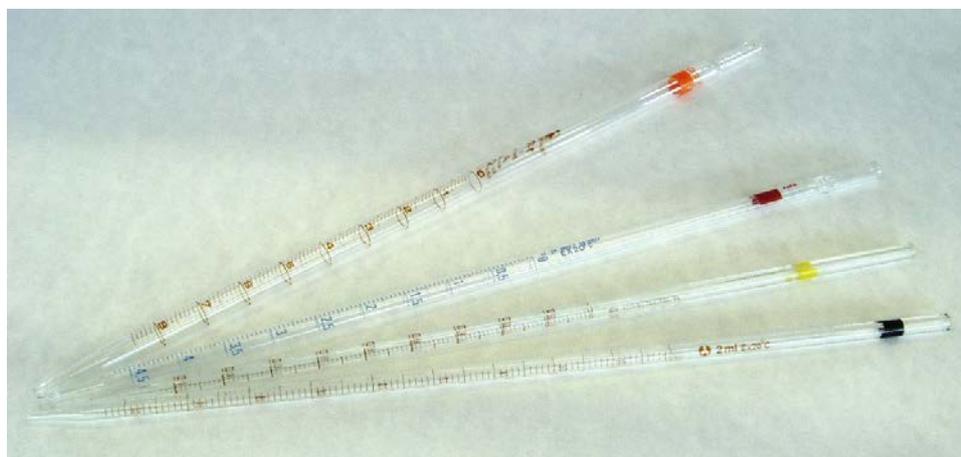


Figura 9 Pipetas graduadas de varios tamaños

Fuente: (Martin, 2015)

Micropipeta

Transfieren volúmenes variables de microlitros de líquido hasta máximo 1 ml. Con esta pipeta se desplaza un volumen conocido y ajustable de aire de

la punta desechable de plástico haciendo un uso adecuado de las mismas. (Martin, 2015)



Figura 10 Micropipeta

Fuente: (Martin, 2015)

2.2 Métodos y sensores para la medición de volumen en líquidos

Cada aparato volumétrico es ajustado individualmente, es decir, se coloca una determinada y exacta cantidad de agua en el aparato volumétrico y se aplica la marca de ajuste a la altura del punto más bajo del menisco, para su producción. Un control estadístico de procesos (SPC) permite la fabricación de aparatos volumétricos con la mínima desviación posible del valor nominal (exactitud) y con una mínima dispersión de los valores individuales (coeficiente de variación).

Generalmente, los ajustes en instrumentos volumétricos se diferencia entre: ajuste por contenido 'In' y por vertido 'Ex'.

Ajuste por vertido 'Ex': La cantidad de líquido vertida corresponde exactamente al volumen indicado sobre el aparato. A este tipo de aparatos volumétricos pertenecen por ejemplo las pipetas graduadas, las pipetas aforadas y las buretas.

Ajuste por contenido 'In': La cantidad de líquido contenida corresponde exactamente al volumen indicado sobre el aparato. A este tipo de aparatos volumétricos pertenecen por ejemplo las probetas graduadas, los matraces aforados y las pipetas capilares hasta 200 μl . (Brand, 2015)

2.2.1 Manejo de pipetas

Las pipetas son aparatos volumétricos normalmente ajustados por vertido 'Ex' para la medición de volumen del líquido. Estas medidas volumétricas en el proceso de fabricación se realizan de forma individual y se les aplica una o varias marcas de medición. Se distinguen generalmente los siguientes tipos de pipetas: pipetas aforadas y pipetas graduadas (ajustadas por vertido 'Ex'), así como pipetas capilares hasta 200 μl (ajustadas por contenido 'In'). (Brand, 2015)



Figura 11 Pipeta graduada, volumen nominal arriba.

Fuente: (Brand, 2015)

2.2.1.1 Llenado de pipetas

Para realizar el llenado de una pipeta se realiza el siguiente proceso.

1. Llenar la pipeta utilizando un auxiliar de pipeteado, hasta la medida deseada por el usuario.
2. Limpiar el exterior de la punta de la pipeta con un paño de celulosa.
3. Ajustar el menisco.
4. Quitar la gota restante en la punta. (Brand, 2015)

2.2.1.2 Vaciado de pipetas

Para realizar el vaciado de una pipeta se realiza el siguiente proceso.

1. Mantener la pipeta en posición vertical, colocar la punta de la pipeta hacia la pared interna de un recipiente, que se mantiene inclinado y dejar salir el contenido. No quitar la punta de la pipeta de la pared.
2. Tan pronto como el menisco permanezca quieto en la punta, empieza el tiempo de espera de 5 s (solamente en unos tipos de pipetas).
3. Una vez transcurrido el tiempo de espera, llevar la punta de la pipeta aproximadamente 1 cm hacia arriba hacia la pared del recipiente y

desprender la gota. Al hacerlo, se verterá un poco más de líquido residual. (Brand, 2015)

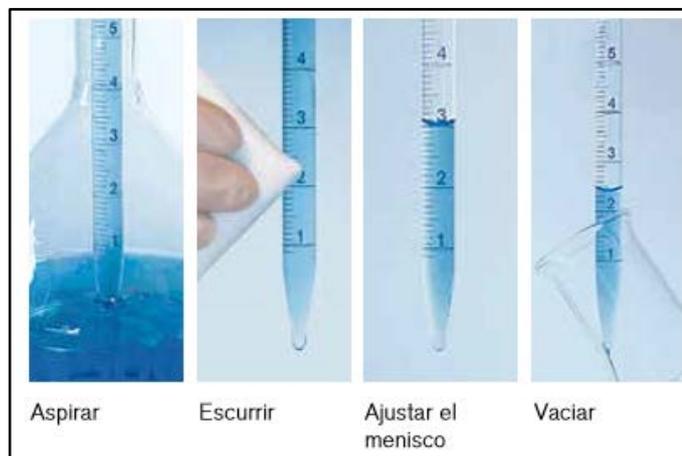


Figura 12 Proceso de llenado y vaciado de una pipeta.

Fuente: (Brand, 2015)

2.2.1.3 Ajuste para pipetas tipo 'in'

Las pipetas capilares tienen diámetro interior muy pequeño. La aspiración del volumen de líquido se realiza mediante un auxiliar de pipeteado o automáticamente por la capilaridad. Tras el vaciado, tiene que enjuagarse la pipeta capilar varias veces con la solución de dilución y se lavan por vibración. (Brand, 2015)

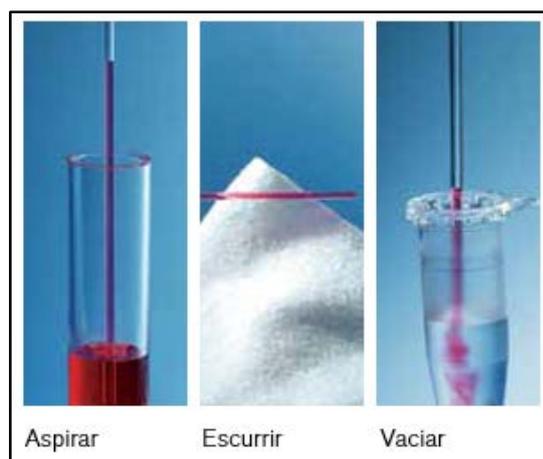


Figura 13 Proceso de llenado y vaciado de una pipeta tipo 'in'.

Fuente: (Brand, 2015)

2.2.2 Auxiliares de pipeteado

El pipeteado directo a la boca, está prohibido. Por lo tanto, es indispensable utilizar un auxiliar de pipeteado. Este contribuye significativamente a la reducción del peligro de infecciones y de lesiones, por eso es indispensable su utilización.

Se distinguen dos tipos de auxiliares de pipeteado:

- Auxiliares de pipeteado manuales
- Auxiliares de pipeteado a motor

2.2.2.1 Auxiliares de pipeteado manuales

Los auxiliares de pipeteado manuales se utilizan sobre todo en los laboratorios químicos.

Pera de goma

Es un auxiliar de pipeteado estándar clásico para pipetas aforadas y pipetas graduadas. Comúnmente utilizado en laboratorios de biotecnología.

El manejo se realiza de la siguiente forma:

1. Coloca la pipeta en la pera de goma.
2. Mediante presión sobre 'A' comprimir la pera para que se puede generar vacío.
3. Mediante presión sobre 'S' aspirar el líquido hasta sobrepasar ligeramente la marca deseada.
4. Mediante presión sobre 'E' dejar salir el líquido hasta la marca deseada o bien vaciar la pipeta. (Brand, 2015)



Figura 14 Proceso de manejo de una pera manual.

Fuente: (Brand, 2015)

Auxiliar de pipeteado tipo manual

Es adecuado para el rango completo de pipetas aforadas y graduadas de 0,1 a 200 ml. Un sistema especial de válvulas permite ajustar el menisco de forma sensible y exacta.

Un filtro de membrana hidrófobo protege el sistema frente a una posible entrada de líquido al equipo.

El manejo se realiza de la siguiente forma:

1. Para generar un vacío dentro del equipo se comprime la pera de aspiración.
2. Para la aspiración, se desplaza hacia arriba la palanca de pipeteado. Cuanto más se desplace hacia arriba la palanca, tanto más rápido se llenará la pipeta.
3. Para la expulsión, se desplaza lentamente la palanca de pipeteado hacia abajo. El menisco desciende – al soltar la palanca el menisco permanece quieto. Para vaciar la pipeta, desplazar la palanca completamente hacia abajo. (Brand, 2015)



Figura 15 Proceso de manejo de un auxiliar de pipeteado manual.

Fuente: (Brand, 2015)

2.2.2.2 Auxiliares de pipeteado a motor

Los auxiliares de pipeteado a motor son adecuados especialmente para el pipeteado de largas series por ejemplo en el cultivo de células.

En el mercado existen muchos fabricantes de este tipo de equipos, entre los cuales tenemos:

Pipeteador Accu-jet pro de BRAND

Posee un ajuste variable de la velocidad de giro del motor y un sistema especial de válvulas que permiten tener una alta sensibilidad en el trabajo con pipetas de 0,1 a 200 ml. Una válvula antirretorno incorporada ofrece, junto con un filtro de membrana, una protección eficaz contra la entrada de líquidos.

Para su operación posee dos botones de aspiración y expulsión.

Para la aspiración, se debe pulsar el botón superior del pipeteador para aspirar el líquido a trabajar. Cuando oprime el botón con mayor fuerza, más rápidamente se llena la pipeta.

Para la expulsión, la velocidad aumenta continuamente a medida que se oprime el botón en el aparato, hasta vaciarlo completamente. (Brand, 2015)



Figura 16 Pipeteador Accu-jet pro de BRAND.

Fuente: (Brand, 2015)

Pipetboy Pro de INTEGRA

Está diseñado para el uso de pipetas de vidrio o plástico de 1 a 100 ml de volumen de rango. En este equipo los botones de manejo permiten configurar diferentes velocidades precisas del líquido entre 2 – 10 ml/s. La batería que posee permite hasta 8 horas de uso continuo. (Integra Biosciences, 2013)



Figura 17 Pipeteador Pipetboy Pro.

Fuente: (Integra Biosciences, 2013)

2.2.3 Sensores para la medición de volumen en líquidos

Los sensores de nivel son muy utilizados en aplicaciones como envasado, sistema de control para monitoreo de llenado y vaciado. Estos sensores son importantes ya que puede determinar el nivel de un contenedor en determinado porcentaje. Al igual que muchos sensores, se pueden clasificar de acuerdo a su principio de operación. (OmegaMX, 2014)

2.2.3.1 Sensor ultrasónico

Sensores ultrasónicos sin contacto

Estos sensores incorporan un procesador de señal analógica, un microprocesador, interruptores de rango de decimal codificado en binario (DCB) y un circuito excitador de salida. Los pulsos transmitidos y una señal de compuerta desde el microprocesador, se transmiten a través del procesador de señal analógica hasta el sensor, que envía un haz ultrasónico a la superficie del líquido. El sensor detecta el eco de la superficie y lo enruta de regreso al microprocesador para una representación digital de una distancia entre el sensor y el nivel de la superficie. A través de una actualización constante de las señales recibidas, el microprocesador calcula los valores promedio para medir el nivel de líquido. (OmegaMX, 2014)

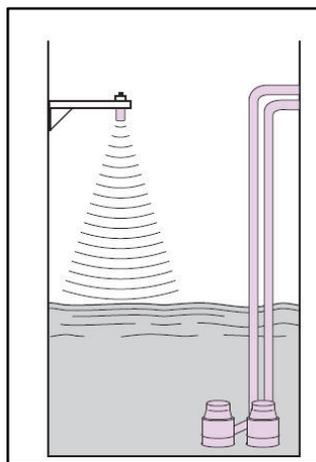


Figura 18 Sensor ultrasónico sin contacto.

Fuente: (Magnetrol, 2014)

Cuando el eco del nivel no vuelve al sensor en un plazo de 8 segundos, la señal de salida del sistema cae por debajo de la señal, lo que indica una

condición de bajo nivel o una tubería vacía. Con un sensor de punto, el microprocesador compara el valor promedio con el ajuste del interruptor DCB y energiza un led de salida para indicación de nivel alto o bajo. Los componentes electrónicos incorporan un retraso de medio segundo que minimiza los efectos de turbulencia de la superficie. (OmegaMX, 2014)

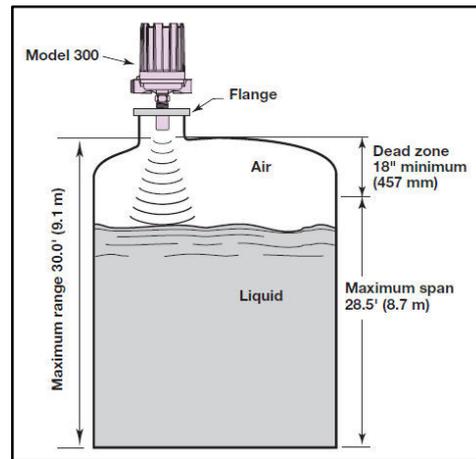


Figura 19 Funcionamiento del sensor Echotel 300.

Fuente: (Magnetrol, 2014)

Sensores ultrasónicos de contacto

Estos sensores están constituidos en un sensor acoplado en campo y un amplificador de estado, no consta de piezas móviles y no requieren calibración. Están equipados por bloques y terminal para conexión a una fuente de energía y dispositivos de control externos. La señal ultrasónica cruza una separación de media pulgada en el sensor, y controla interruptores de relé cuando la separación contiene líquido. A medida que el líquido cae debajo de un nivel referencial, la señal ultrasónica se atenúa y por último lleva el relé a su estado anterior.

Estos sensores se usan en recipientes o tuberías para operar automáticamente bombas, válvulas solenoides y alarma. Se requerirían de dos sensores para llenar y vaciar tanques, así como también para dosificar volúmenes de líquido. Son compatibles con casi todos los líquidos, ya que no resultan afectados por los recubrimientos, que protege contra gotitas que se adhieren a la superficie, la espuma y el vapor. Sin embargo, los líquidos muy

aireados y los líquidos viscosos, podrían obstruir la separación del sensor y pueden causar problemas de recepción de señal. (OmegaMX, 2014)



Figura 20 Control de nivel ultrasónico mediante un sensor FLOWLINE SwitchTek.

Fuente: (Nikron Automacion, 2010)

2.2.3.2 Sensor capacitancia

Los sensores ultrasónicos al igual que los sensores por capacitancia pueden trabajar para medición de nivel puntual o continuo. Usan una sonda para monitorear los cambios de nivel de líquido en el recipiente, un acondicionamiento a la salida para valores capacitivos y resistivos, que se convierten en señales analógicas. La sonda y el recipiente actuarán como si fueran las dos placas de un capacitor, y el líquido corresponderá al medio dieléctrico. Debido a que la señal resulta de cambios de nivel, la acumulación de material en la sonda no tiene efecto. Los recipientes de fluido no conductor pueden indicar sondas dobles o una banda conductora externa. (OmegaMX, 2014)

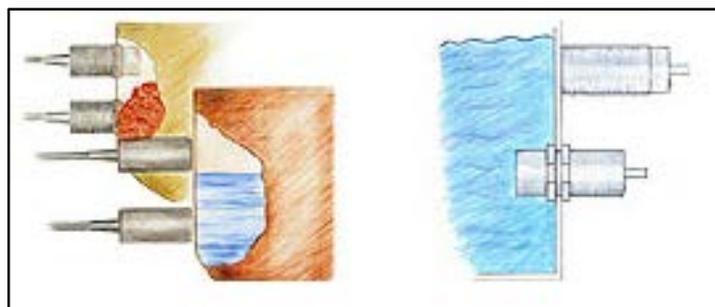


Figura 21 Aplicaciones típicas de los sensores capacitivos (KAS)

Fuente: (Rechner Sensors, 2014)

La sonda puede ser rígida o flexible, usa alambre conductor con aislamiento de OPTE. Cuando se usa acero inoxidable en la sonda, está ayudará con mayor sensibilidad cuando se necesita medir líquidos que son no conductores, granulares, o de propiedades dieléctricas bajas (constante dieléctrica menor de 4). Se deben usar sondas flexibles cuando no hay suficiente espacio libre para una sonda rígida, o en aplicaciones que exigen longitudes muy grandes. Las sondas rígidas ofrecen estabilidad más alta, especialmente en sistemas turbulentos, donde la oscilación de la sonda puede causar fluctuaciones en la señal. (OmegaMX, 2014)



Figura 22 Sensor de nivel capacitivo para tanque IP67

Fuente: (Direct Industry, 2016)

2.2.3.3 Interruptor de flotador

Estos sensores funcionan de forma puntual, un flotador magnético se mueve debido a la superficie del líquido y acciona un "interruptor " sellado herméticamente en el vástago. Este diseño sencillo y de bajo mantenimiento se instala fácilmente; minimiza el coste, la vibración y la presión; y funciona en una amplia variedad de medios. El interruptor puede ser de un polo, un tiro (SPST), dos tiros (SPDT). (OmegaMX, 2014)

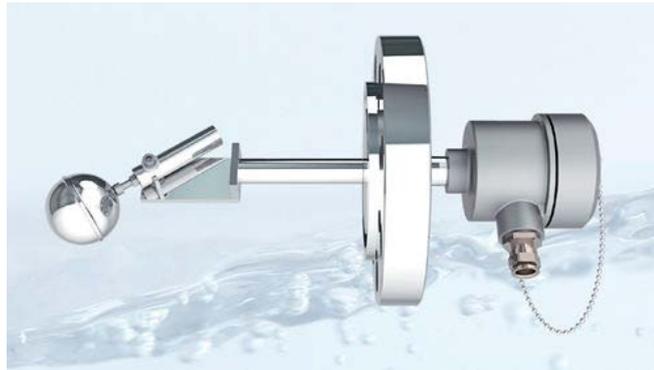


Figura 23 Interruptor de nivel de flotador magnético para líquido

Fuente: (Direct Industry L, 2016)

2.2.3.4 Sensor de presión

La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie. Generalmente se mide buscando el equilibrio con la ejercida por una fuerza conocida (de una columna líquida, un resorte, un émbolo cargado con un peso o cualquier otro elemento que puede sufrir una deformación cualitativa cuando se le aplica la presión). (Universidad Nacional del Sur, 2012)

Para entender acerca de las medidas de presión se observa el siguiente gráfico:

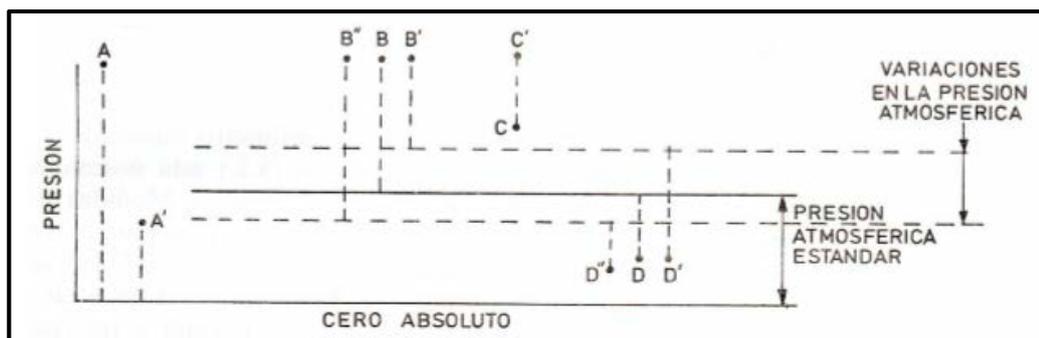


Figura 24 Tipos de presión.

Fuente: (Universidad Nacional del Sur, 2012)

- Presión absoluta: mide respecto al cero absoluto de presión (A y A').
- Presión atmosférica: es la presión ejercida por la atmósfera terrestre.
- Presión relativa: es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica (B, B' y B'')

- Presión diferencial: es la diferencia entre dos presiones, (C y C').
- Vacío: es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (D, D' y D").

Clases de sensores de presión

- Mecánicos: Elementos primarios con medida directa, miden la presión comparándola con la realizada por un líquido. El desplazamiento que se realiza puede indicarse por un sistema de flotador y palanca sobre una graduación.
- Elementos elásticos: miden la presión por su propia deformación. La aplicación de una presión a su interior produce un movimiento que se transmite a una aguja indicadora con una escala.
- Neumáticos: utilizan componentes mecánicos que procuran el equilibrio entre fuerzas (tubo Bourdon) o de movimientos (elementos de fuelle).
- Electromecánicos-Electrónicos: utiliza elementos mecánicos, elásticos, o combinando con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. (Universidad Nacional del Sur, 2012)

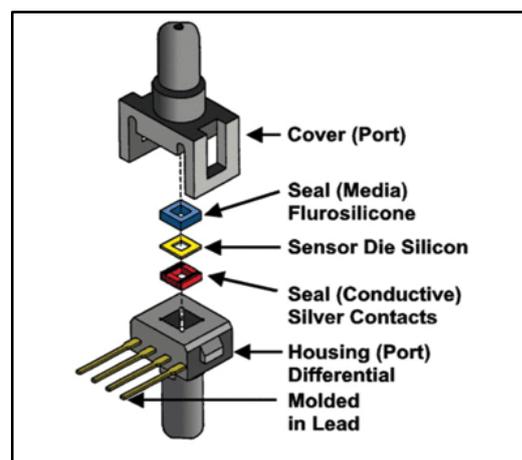


Figura 25 Sensor de presión para equipos médicos.

Fuente: (Medical Design, 2016)

Unidades de presión

Como se expresó la presión es la fuerza por unidad de superficie y es expresada en unidades como pascal, barr, atmosfera o psi (libras por pulgada

cuadrada). Cuando se desee trabajar con unidades del sistema internacional de unidades (SI), se utiliza el pascal, y se define como la fuerza de 1 Newton que realiza un cuerpo sobre una superficie de 1 metro cuadrado.

$$1 [Pascal] = 1 \left[\frac{Newton}{metros^2} \right] \quad (1-1)$$

Cuando se desee trabajar en países que apliquen el sistema inglés, se trabaja con las siguientes unidades:

$$1 [PSI] = 1 \left[\frac{Pound}{Square\ inch} \right] = 1 \left[\frac{Libra\ fuerza}{pulgadas^2} \right] \quad (1-2)$$

Si se requiere hacer la equivalencia entre unidades antes mencionadas (Pascal y PSI), el valor sería:

$$1 [PSI] = 6.985 [KPa] \quad (1-3)$$

Para las demás unidades que se expresen la presión se tendría una tabla de conversión como la que se muestra en la siguiente imagen:

Unit	mm Hg	in. Hg	in H2O	ft H2O	lb/in ²	kg/cm ²	Atmos	kPa
1mm Hg	1	0.0394	0.5352	0.0447	0.01934	0.00136	0.0013	
1 in. Hg	25.4	1	13.5951	1.1330	0.49115	0.03453	0.0334	3.386
1 in H2O	1.86827	0.0736	1	0.0833	0.03613	0.00254	0.0025	0.249
1 ft H2O	22.4192	0.8827	12	1	0.43352	0.030479	0.0295	2.989
1 lb/in ²	51.7149	2.0360	27.6807	2.3067	1	0.07031	0.0681	6.895
1 kg/cm ²	735.559	28.959	393.7117	32.8093	14.2233	1	0.9678	98.07
Atmos.	760.456	29.92	406.5	33.898	14.70	1.033	1	101.3
kPa	7.50064	0.2953	4.0146	0.3346	0.14504	0.0102	0.0099	1

Figura 26 Tabla de conversión de unidades de presión.

Fuente: (Universidad Nacional del Sur, 2012)

2.3 Densidad de sustancias utilizadas en los laboratorios de Biotecnología

2.3.1 Densidad en líquidos

La medición de la densidad de los líquidos es similar a la medición en los sólidos. Para esto se empleará tres métodos: el del picnómetro, el de la

probeta y el del principio de Arquímedes. Se debe tener en cuenta la temperatura de trabajo ya que influye en el valor de la densidad, si se aumenta la temperatura, la densidad del líquido se torna ligeramente menor. (Osorio, 2001)

2.3.1.1 Método del picnómetro

Un picnómetro es un frasco pequeño de vidrio, volumen exacto y conocido (V_p). Primero se pesa en vacío (w_p), luego se llena completamente con el líquido que se desea conocer su densidad y finalmente se pesa (w_{pl}). Con todos estos datos se puede calcular la densidad del líquido que se requiera conocer: (Osorio, 2001)

$$d_L = \frac{w_{pl} - w_p}{v_p} \quad (1-4)$$



Figura 27 Estructura del control avanzado.

Fuente: (Osorio, 2001)

2.3.1.2 Método de la probeta

Se tiene que pesar la probeta vacía y seca (w_o), luego se llena con un volumen del líquido a medir, para que finalmente pesar todo el conjunto (w_f). La diferencia que exista entre $w_f - w_o$ resulta ser la masa del líquido. (Osorio, 2001)

Entonces la ecuación sería:

$$d_L = \frac{w_f - w_o}{V} \quad (1-5)$$

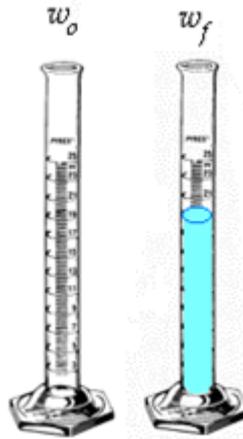


Figura 28 Método de la probeta.

Fuente: (Osorio, 2001)

2.3.1.3 Método del principio de Arquímedes

Se pesa un vaso de precipitación parcialmente lleno con uno de los líquidos que se quiera medir (w_b). Luego se coloca un sólido de densidad conocida (de preferencia el cobre Cu) con un hilo delgado y se suspende en el beaker sobre el líquido tal como se muestra en la figura siguiente. Se debe tener cuidado que el sólido no haga contacto con las paredes del vaso. Finalmente se tiene el peso del proceso como w_t . (Osorio, 2001)

La densidad del líquido se puede calcular a partir de la ecuación:

$$d_L = \frac{w_t - w_b}{w_s} d_s \quad (1-6)$$

Donde d_s corresponde a la densidad del sólido ($Cu = 8.96 \text{ g/cm}^3$) y w_s a su peso.

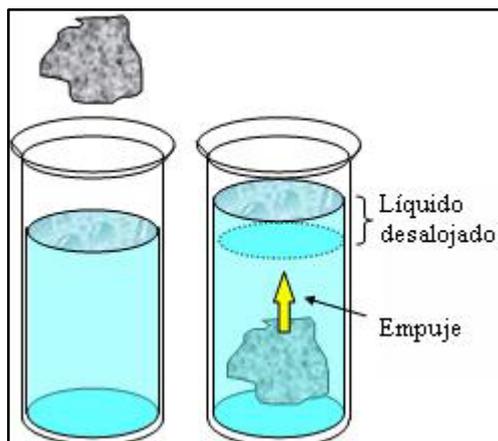


Figura 29 Método del principio de Arquímedes.

Fuente: (Osorio, 2001)

2.3.2 Densidad de soluciones

La densidad de una solución se puede medir utilizando los métodos descritos con anterioridad para líquidos puros. Así por ejemplo, para una solución de NaCl con concentración 2.5% p/p muestra que por cada 200 g de la solución hay 5 g de NaCl. Para la densidad de una solución tipo acuosa para tener su medición se realiza del mismo modo como medir la densidad de un líquido puro.

Hay sustancias que poseen más átomos por unidad de volumen que otros, por ende tienen más gramos, por unidad de volumen. Por esta razón, existen sustancias que poseen más densidad que otros.

Por ejemplo, la densidad del agua es de 1 gr/cm^3 . Esto significa que si se toma un cubo de 1 cm de lado y lo colocamos de agua, el agua que posee este cubo tendrá una masa de un gramo.

Otro ejemplo, la densidad del mercurio, es de $13,6 \text{ gr/cm}^3$. Esto significa que si toma un cubo de 1 cm de lado cubierto con mercurio, posee una masa de 13,6 gramos.

Se puede concluir que los sólidos posee una mayor densidad que los líquidos y por tal razón posee una mayor densidad que los gases. (Bustamante, 2015)

Densidad					
Sólidos			Fluidos		
Sustancia	g/cm ³	kg/m ³	Sustancia	g/cm ³	kg/m ³
Hormigón	2	2000	Aire	0.0012	1.2
Aluminio	2.7	2700	Aceite de oliva	0.92	920
Hierro/acero	7.8	7800	Alcohol	0.81	810
Latón	8.6	8600	Benceno	0.90	900
Cobre	8.9	8900	Hielo	0.93	920
Plata	10.5	10500	Agua	1.0	1000
Plomo	11.3	11300	Agua de mar	1.03	1030
Oro	19.3	19300	Sangre	1.06	1060
Platino	21.4	21400	Glicerina	1.26	1260
			Mercurio	13.6	13600

Figura 30 Densidad de varias sustancias en condiciones estándar (0°C y 1 atm).

Fuente: (Bustamante, 2015)

2.4 Métodos de control

2.4.1 Controladores en sistemas industriales

Los controladores automáticos que se emplean en la industria, se califican según (Ogata, 2010) su acción de control son los siguientes:

- De dos posiciones o controladores on/off
- Controladores proporcionales
- Controladores proporcionales – integrales
- Controladores proporcionales – derivativos
- Controladores Proporcionales -integrales-derivativos

Los controladores también pueden ser clasificados según el tipo de energía con la que se opera, siendo éstos electrónicos, neumáticos o hidráulicos. Las características propias de la planta del sistema son las que se consideran al momento de implementar un controlador, teniendo en cuenta los factores de precisión, estabilidad, robustez, etc.

2.4.2 Tipos de métodos de control

2.4.2.1 Acción de control de dos posiciones (on/off)

En este controlador, la acción de control tienes dos estados fijos, que por lo general son de encendido y apagado. El uso de este tipo de controlador

está ampliamente extendido en el ámbito industrial y doméstico ya que el controlador es simple y económico, debido a esto es fácil de implementar.

La salida del controlador, definida como $u(t)$, mantiene un valor máximo U_1 o mínimo U_2 dependiendo del error, expresado como $e(t)$, es positivo o negativo. En algunos casos se implementa una ventana de histéresis la cual funciona como un rango de acción de control, ésta impide el cambio excesivo de estado de la salida del controlador cada vez que el error cambia de positivo a negativo o viceversa. (Ogata, 2010)

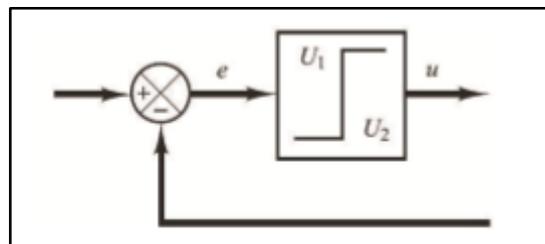


Figura 31 Diagrama de bloque del controlador on/off.

Fuente: (Ogata, 2010)

2.4.2.2 Acción de control proporcional

Este controlador funciona como un amplificador de ganancia variable dependiendo de la relación que se da entre la salida del controlador $u(t)$ y el error $e(t)$, demostrada por (Ogata, 2010) en la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p * e(t) \quad (1-7)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional. La función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (1-8)$$

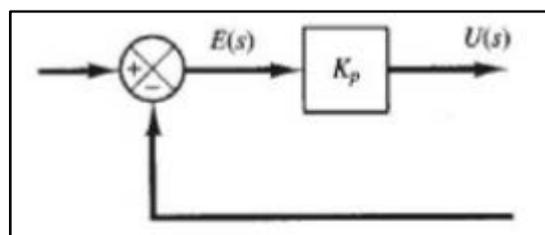


Figura 32 Diagrama de bloque del controlador proporcional.

Fuente: (Ogata, 2010)

2.4.2.3 Acción de control Integral

Este controlador realiza la acción integral en el tiempo, a partir de la salida del controlador $u(t)$ varía proporcionalmente junto con la señal de error $e(t)$, demostrada por (Ogata, 2010) en la siguiente ecuación:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i * e(t) = K_p * e(t) \quad (1-9)$$

O también:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t)dt = K_p * e(t) \quad (1-10)$$

Donde K_i es la ganancia integral. La función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (1-11)$$

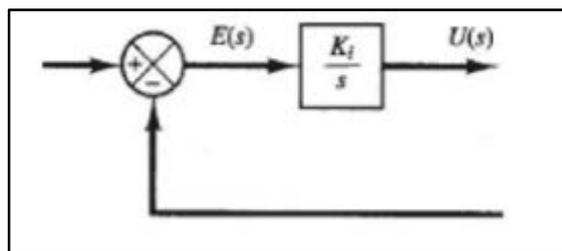


Figura 33 Diagrama de bloque del controlador integral.

Fuente: (Ogata, 2010)

2.4.2.4 Acción de control Proporcional-integral

La acción de control de un controlador proporcional-integral (PI) se define por (Ogata, 2010) mediante la ecuación:

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t)dt \quad (1-12)$$

Donde T_i se denomina tiempo integral. La constante K_p es ajustable.

La constante proporcional K_p actúa tanto en el control proporcional con el control integral, mientras que la constante de tiempo integral T_i interviene sobre la parte integral del control.

La función de transferencia del control proporcional–integral está definida por:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p * \left(1 + \frac{1}{T_i * s}\right) \quad (1-13)$$

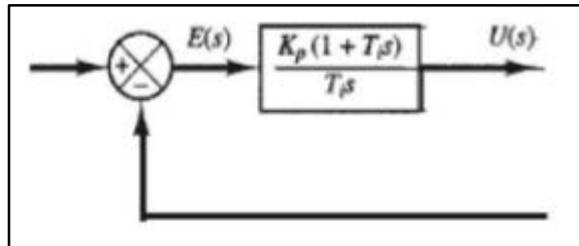


Figura 34 Diagrama de bloque del controlador proporcional-integral.

Fuente: (Ogata, 2010)

2.4.2.5 Acción de control Proporcional-derivada

El controlador proporcional-derivada se define por (Ogata, 2010) mediante la ecuación:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_p T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (1-14)$$

Donde T_d es la constante del tiempo derivativo. La constante K_p es ajustable.

La constante proporcional K_p actúa tanto en el control proporcional con el control derivativo, mientras que la constante de tiempo derivativo T_d interviene proporcionalmente en la velocidad de cambio de error por medio del tiempo sobre la acción de control.

La función de transferencia del control proporcional-derivativo está definida por:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p * (1 + T_d * s) \quad (1-15)$$

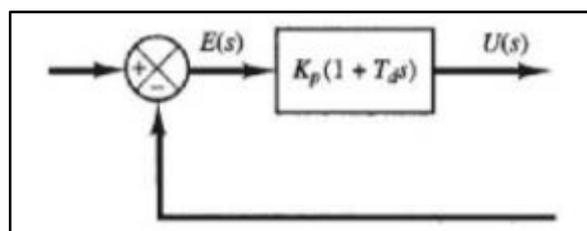


Figura 35 Diagrama de bloque del controlador proporcional-derivativo.

Fuente: (Ogata, 2010)

2.4.2.6 Acción de control Proporcional-integral-derivativa

El control proporcional-integral-derivativa es la combinación de las acciones de control proporcional, integral, derivativo y abarca todas las características y ventajas que posee cada tipo de controlador. Este controlador se define por (Ogata, 2010) mediante la ecuación:

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (1-16)$$

Donde K_p es la constante de ganancia proporcional, T_i la constante de tiempo integral y T_d la constante de tiempo derivativo. Todas estas constante son ajustables.

La función de transferencia del controlador proporcional-integral-derivativa se define por:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p * \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right) \quad (1-17)$$

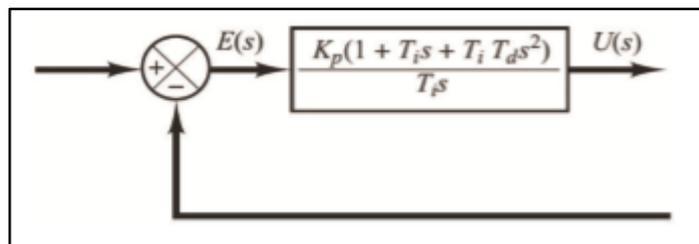


Figura 36 Diagrama de bloque del controlador proporcional-integral-derivativo.

Fuente: (Ogata, 2010)

2.4.2.7 Sistemas de control avanzado

Muchos de los procesos no son sencillos; en algunos casos son muy complejos, presentan retardos, sometidos a perturbaciones y pudiendo ser no lineales. Después de diversos intentos de utilizar controladores PID intentando diversos ajustes, se termine por controlar manualmente el proceso. Existen técnicas especiales que ayudan el control para este tipo de procesos se denominan control avanzado.

El control avanzado funciona por medio del conocimiento del comportamiento la planta y sus herramientas de control, como el

procesamiento de señales, hardware y software, estadística e inteligencia artificial. (Creus, 2011)

La estructura general del control avanzado se visualiza en la siguiente imagen.

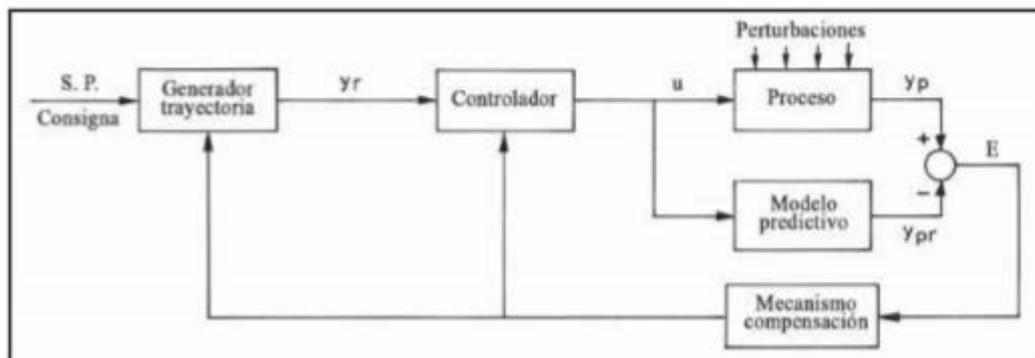


Figura 37 Estructura del control avanzado.

Fuente: (Creus, 2011)

Existen diversos sistemas de control avanzado mencionado por (Creus, 2011) de las cuales se describen las siguientes:

- **Control robusto**, trabaja por la tolerancia del controlador ante las perturbaciones que se presenten en las condiciones de operación normal.
- **Control estadístico**, trabaja en tiempo real con reglas de probabilidad sobre las variables y mediante los cálculos estadísticos, determina la tendencia de estas variables aleatorias que pueden provocar problemas de control durante el trabajo.
- **Control óptimo**, el sistema cumple una ley de control, donde la salida del controlador forma una mínima a la función objetivo.
- **Control adaptativo**, el sistema de control ajusta automáticamente los parámetros para compensar las perturbaciones que puedan originarse en el proceso.
- **Control predictivo**, usa modelos dinámicos del proceso, se predice para prever las condiciones futuras del proceso, tomando el conocimiento de datos pasados y actuales.

- **Control por redes neuronales**, es una forma de control que se basa en el funcionamiento de las neuronas del sistema nervioso humano.
- **Control por lógica difusa**, se utiliza operadores para representar un sistema mediante reglas usando modelos matemáticos, humaniza el control y lo adecua para el control de procesos no lineales y cambiantes en el tiempo.

CAPITULO 3

DISEÑO DEL PROTOTIPO INSTRUMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS

Este capítulo describirá la funcionalidad de cada una de las partes y elementos que compone el prototipo, tanto en la mecánica, electrónica y programación. La estructura de protección del equipo ayudará a integrar todos los componentes electrónicos en su interior, de una manera ergonómica y segura. En la parte electrónica contiene un sensor de presión absoluta que sensará la presión del aire dentro de la pipeta. También posee un sistema de aspiración y expulsión de aire para el ingreso o salida del líquido en el interior de la pipeta. Para el sistema de control se tendrá una placa que tome los datos adquiridos a través del sensor y se comunique con el microcontrolador. Para el sistema de control se tendrá la programación para comunicar el equipo con una HMI (Interfaz Humano Máquina), a través de un módulo bluetooth. La HMI será controlada a través de un dispositivo móvil, que contendrá las funciones de control del equipo instrumental. El equipo constará de dos pulsadores, el primero servirá para ingresar el líquido hasta la medida seteada a través de la HMI, mientras que el segundo pulsador servirá para expulsar el líquido contenido en la pipeta, con una velocidad programada hacia el recipiente.

3.1 Diseño de los Componentes eléctricos y/o electrónicos

3.1.1 Requerimientos y selección de componentes

Esta parte está dividida en dos fases. La primera constará de la adquisición de datos del sensor, todo esto estará implementado en una placa de control. La segunda contará de los elementos de comunicación bluetooth, que permite la comunicación del equipo con el dispositivo móvil.

Para esto es muy importante seleccionar los sensores y actuadores del prototipo para que actúen según los requerimientos que se necesitan.

- Absorción del líquido.

- Medición del líquido.
- Expulsión del líquido
- Velocidad de expulsión.

3.1.2 Componentes eléctricos

3.1.2.1 Batería

Para la selección de la batería, se requiere las siguientes características de funcionamiento, de las cuales tenemos:

- Dimensión, ya que el tamaño es una característica importante en el diseño del prototipo.
- Duración, para que el equipo pueda durar más de una hora continua de trabajo sin necesidad de conectar para cargar.
- Potencia, para que pueda alimentar a todos los componentes electrónicos que contiene el prototipo.
- Voltaje, debe ser dimensionado para q tenga el voltaje necesario que energice los componentes electrónicos y funcionen óptimamente.

Con todos los requerimientos anteriormente mencionados, se ha seleccionado la batería 18850, recargable, que posee las siguientes características:

- Número de celdas: 1S
- Tipo: Li-Po
- Voltaje: 3.7V – 4 V
- Potencia: 1500 mAh
- Dimensión: 66 x 20 mm

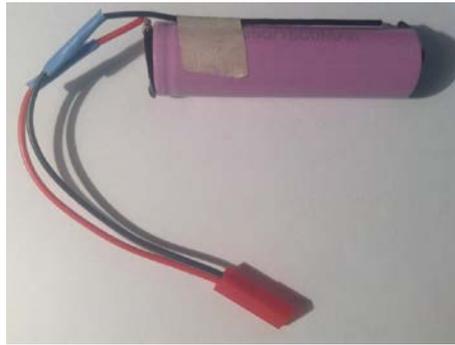


Figura 38 Batería LiPo

3.1.2.2 Comunicación inalámbrica

Para emparejar la aplicación Android que funciona entre un dispositivo móvil junto con el equipo instrumental pipeteador, se lo necesita realizar a través de una comunicación inalámbrica. Por tal motivo se escoge realizar mediante la conexión bluetooth. Se utiliza este tipo de comunicación debido a que es bajo costo, automática, bajo consumo de energía y sobretodo que es inalámbrica permitiendo una efectiva comunicación entre el dispositivo móvil y el equipo instrumental pipeteador. Al comparar la comunicación Bluetooth con WiFi, su principal ventaja es el bajo consumo energía, y este punto es importante en el proyecto debido a la duración de la batería del equipo para que trabaje 1 hora de tiempo continuo. El envío de datos se realiza bit a bit mediante un protocolo de comunicación especificado, para evitar la pérdida de datos. Para realizar la comunicación bluetooth, se escoge realizarlo a través del módulo HC-06 que posee las siguientes características:

- Pines: Vcc, Gnd, Tx, Rx.
- Voltaje de entrada: 3.3 – 6 VDC.
- Distancia máxima: 10 metros en campo abierto.
- Tamaño: 43mm x 15mm
- Corriente de trabajo: 30 mA para emparejamiento, 10 mA emparejada la comunicación.

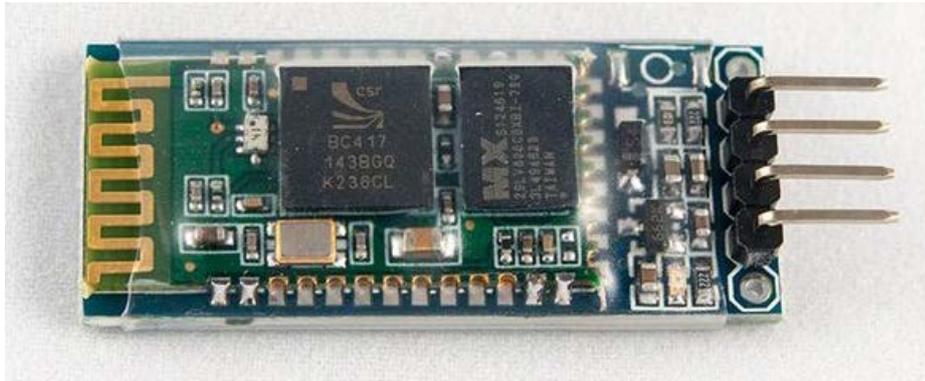


Figura 39 Módulo Bluetooth

De esta manera el módulo bluetooth debe trabajar como slave (esclavo), ya que solo estará conectado con un máster (dispositivo móvil), y solo recibirá información de este hacia el slave (equipo instrumental pipeteador). El espacio utilizado para la operación y trabajo del equipo instrumental pipeteador es un laboratorio de biotecnología de la universidad, el rango de operación del bluetooth será óptimo para que se pueda configurar a través del dispositivo móvil los parámetros de trabajo.

3.1.3 Dimensionamiento y selección de sensores y actuadores.

3.1.3.1 Selección del sensor

Para la selección del sensor debe contener características de funcionamiento para el prototipo, entre ellas tenemos:

- Precisión, debido a que requiere tener una exactitud en la medición de cada volumen dentro de la pipeta.
- Tiempo de respuesta, ya que se requiere el mayor número de datos para obtener ecuación de control.
- Tamaño, para que pueda caber dentro del prototipo.
- Rango de Operación, para que la presión pueda ser sensada cuando cambie dentro de la pipeta.

Con todos los requerimientos anteriormente mencionados, se ha seleccionado el sensor: LPS22HB, una de sus características más importante es que posee una tecnología MEMS (Microelectromechanical Systems), se refiere a una tecnología electrónica, mecánica, micrométrica y de escala

relativamente más pequeña (escala manométrica). Sus características de funcionamiento son:

Tabla 1
Especificaciones técnicas sensor LPS22HB

Parámetro	Mínimo	Máximo	Unidad
Rango de Presión	260	1260	hPa
Sensibilidad Presión	4096		LSB/hPa
Suministro de voltaje	1.7	3.6	V
Rango de Temperatura	-40	85	°C

La comunicación que utiliza el sensor es a través de I2C, la cual ayuda a tener una comunicación más rápida y sólo requiere 2 líneas de señal. La medida del sensor es 2 mm de ancho por 2 mm de largo y 0.8 mm de espesor, lo que hace el sensor de presión atmosférica más pequeño en el mercado.

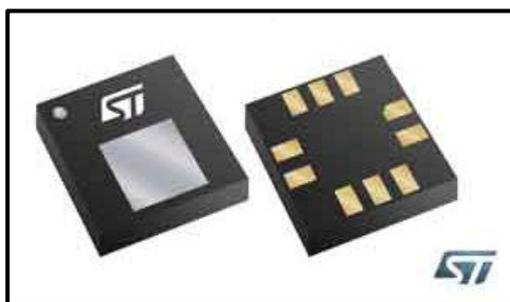


Figura 40 Sensor LPS22HB

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

Comunicación I2C

El LPS22HB I²C es un esclavo de bus. El I²C se emplea para escribir datos en registros cuyo contenido también puede leerse de nuevo. La correspondiente terminología I²C se da en la tabla siguiente:

Tabla 2
Terminología I²C

Término	Descripción
Transmisor	El recurso que envía datos al bus
Receptor	El recurso que recibe datos del bus
Maestro	El recurso que inicia una transferencia, genera señales de reloj y termina una transferencia
Esclavo	El recurso dirigido por el maestro

Hay dos señales asociadas con el bus I²C: la línea de reloj serie (SCL) y la línea de datos serie (SDA). Esta última es una línea bidireccional utilizada para enviar y recibir los datos desde / hacia la interfaz. Ambas líneas tienen que estar conectadas a VDD a través de resistencias pull-up. La interfaz I²C es compatible con los estándares I²C de modo rápido (400 kHz), así como con el modo normal.

La transacción en el bus se inicia a través de una señal START (ST). Una condición de inicio se define como una transición HIGH-to-LOW en la línea de datos mientras que la línea SCL se mantiene alta. Después de que el maestro haya transmitido esto, el bus se considera ocupado. El siguiente byte de datos transmitido después de la condición de inicio contiene la dirección del esclavo en los primeros 7 bits y el octavo bit indica si el maestro está recibiendo datos del esclavo o transmitiendo datos al esclavo. Cuando se envía una dirección, cada dispositivo del sistema compara los primeros siete bits después de una condición de inicio con su dirección. Si coinciden, el dispositivo se considera dirigido por el maestro.

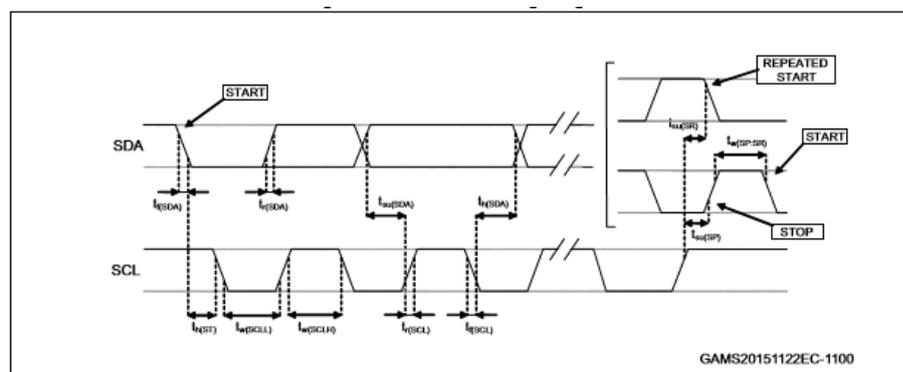


Figura 41 Diagrama comunicación I²C

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

La transferencia de datos con confirmación es obligatoria. El transmisor debe liberar la línea SDA durante el impulso de acuse de recibo. El receptor debe entonces tirar de la línea de datos LOW de modo que permanezca estable bajo durante el período ALTO del impulso de reloj de acuse de recibo. Un receptor que se ha dirigido está obligado a generar un reconocimiento

después de cada byte de datos recibidos. (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

3.1.3.2 Selección del sistema de aspiración

El sistema de aspiración debe contener características muy importantes para el funcionamiento óptimo del prototipo, entre ellas tenemos:

- Precisión, debido a que debe retener el líquido en la medida deseada.
- Baja potencia, para que tenga un mayor rendimiento la batería que alimente el sistema.
- Tamaño, para que pueda caber dentro de la carcasa del prototipo.

Con todos los requerimientos anteriores se ha seleccionado para el sistema de aspiración se realice a través de una bomba de succión y expulsión de aire, junto a válvulas solenoides que actuarán para realizar el control del líquido en el equipo.

Bomba de aspiración y expulsión de aire

La selección de la bomba de succión y expulsión de aire se hizo en base a las características deseadas para el diseño del sistema de aspiración, para esto se tomó como referencia las bombas utilizadas en los equipos pipeteadores que se comercializan en el mercado.

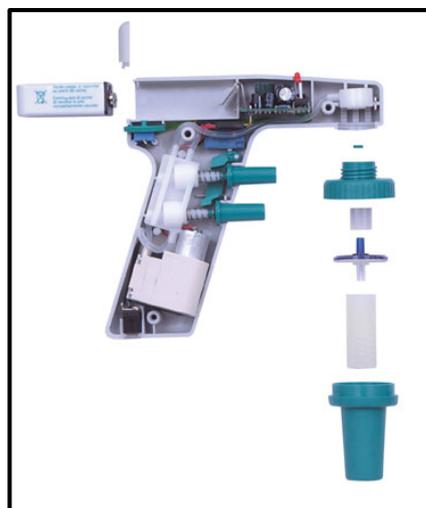


Figura 42 Partes de un Pipeteador

Fuente: (Cas-Instrumental, 2015)

Que se puede ver en la ilustración la bomba que utiliza es pequeña y compacta para que pueda ser utilizada de manera portátil. Se investigó para utilizar una bomba similar y se encontró una bomba con las siguientes características:

- Bomba de membrana
- Voltaje de alimentación: 5 VDC
- Corriente: 800 mA
- Diámetro de orificios de entrada y salida de aire: 3 mm
- Tamaño: 35x38x22 mm



Figura 43 Bomba de membrana

La bomba de membrana es un tipo de bomba de desplazamiento positivo (o alternativo) que funciona a través de paredes elásticas (diafragmas), en la cual se introduce y se saca el aire de una cámara de bombeo.



Figura 44 Mecanismo para realizar el bombeo



Figura 45 Membrana de la bomba

Válvulas solenoides

La válvula de solenoide es un elemento eléctrico, utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en 2 posiciones diferentes, completamente abierta o completamente cerrada. Estas válvulas pueden usarse para controlar el flujo de diferentes fluidos, con la debida deferencia a las presiones y temperaturas que actúen, así como también la viscosidad del fluido y su adaptabilidad en los materiales que se utilizaron para la construcción de esta válvula.

El funcionamiento de la válvula de solenoide es mediante cierre de las vías de conducción ya sea por gravedad, presión o el accionamiento de un resorte; cuando se requiera que la vía sea abierta, se debe producir el

movimiento de un émbolo, que es operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa.

La válvula de solenoide contiene dos partes distintas, pero unidas entre sí: el solenoide (bobina eléctrica) y el cuerpo de la válvula. El solenoide es un electroimán que contiene una bobina de alambre de cobre aislado, u otro alambre conductor apropiado, que debe estar enrollado en espiral dentro de una superficie de un cuerpo cilíndrico. Cuando se acciona mediante corriente eléctrica a través de los 2 devanados, este actúa como electroimán, tal como se visualiza en la siguiente imagen.

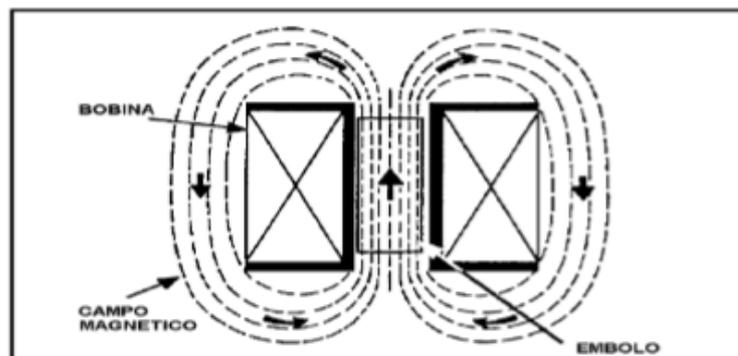


Figura 46 Solenoide energizado

Fuente: (Arias & Marulanda, 2010)

Dentro del cuerpo de la válvula, contiene una vía por la cual fluye el líquido o aire cuando está abierta. El émbolo que abre y cierra el puerto de la válvula, está unido a un resorte en la parte baja de la bobina. De esta manera, se puede abrir o detener el flujo al energizar o desenergizar la bobina solenoide. Mediante este principio magnético, constituye una base principal en el diseño de las válvulas solenoide.

Existen diferentes tipos de válvulas, ya sea por su tipo de construcción, como normalmente cerrada, normalmente abierta o de acción múltiple. También existen por su forma como de dos vías, tres vías, cuatro vías o reversibles. Puede haber válvulas solenoide que combinan diferentes tipos anteriormente mencionados. Por ejemplo, hay válvulas normalmente abiertas de dos vías como también válvulas normalmente cerradas de tres vías. Todo dependerá

del uso y la aplicación que se requiera para su selección. (Arias & Marulanda, 2010)

Para la selección de la válvula solenoide, se realiza en base al diámetro de salida de la bomba para que mediante mangueras de silicona se enlacen a las válvulas solenoides.

Por este motivo se seleccionó tres válvulas solenoides 3/2 vías normalmente abiertas, que son utilizadas para equipos médicos y de laboratorio debido principalmente a su tamaño que son más pequeñas a las utilizadas comúnmente en la industria. Entre sus principales características de las válvulas solenoides son:

- Diámetro de salida y entrada de aire: 3.2 mm
- Voltaje de Operación: 4,5 V
- Corriente: 214 mA.
- Rango de presión: 0 – 350 mmHg
- Tamaño: 12,6x19,4x30 mm

Al ser de 3 vías el funcionamiento es que al momento que está energizada, la bobina hace que funcione la entrada con la salida número dos. Pero cuando es desenergizada, funciona la entrada con la salida tres. De esta manera se tiene diferentes vías de conducción del aire para cuando se desee aspirar, retener o echar el líquido a través de nuestro equipo.

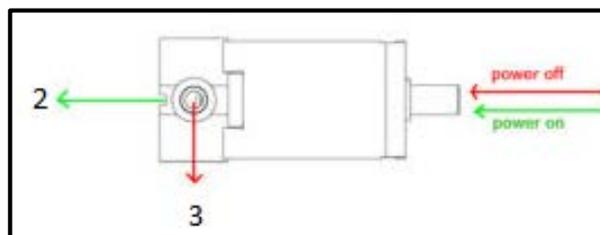


Figura 47 Funcionamiento de la válvula solenoide

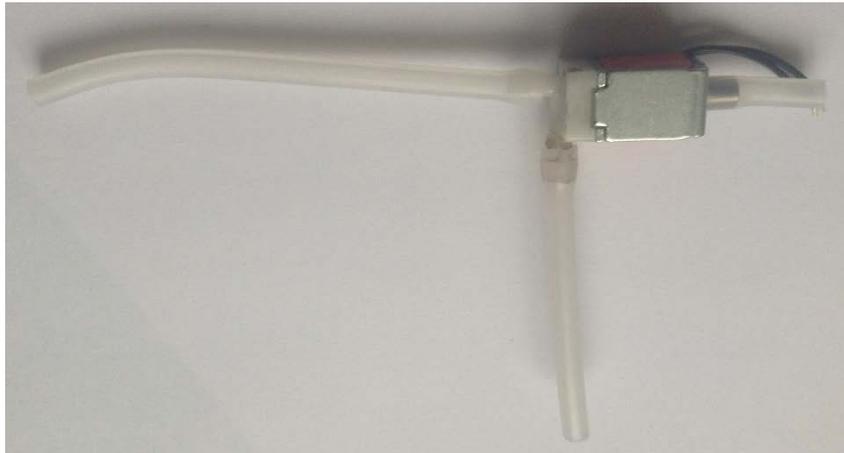


Figura 48 Válvula solenoide

Funcionamiento del sistema de aspiración y expulsión de líquido

El sistema de aspiración y expulsión de líquido funciona a través de una bomba de membrana que es la encargada de aspirar y expulsar aire mediante las 2 vías que posee para realizar su respectiva función. Para controlar cada vía se lo realizará a través de válvulas solenoides de 3 vías que permitirán el paso o bloqueo del aire. Para esto se debe utilizar 3 válvulas para de esta manera obtener un sistema de aspiración y expulsión de aire. A cada válvula se la asignará un nombre ya que luego será utilizado en la programación para que la bobina sea activada o desactivada según la función que se desee realizar. Par esto se asignó el nombre de:

- Vala: Válvula absorción, se encuentra en la vía de entrada de aire.
- Vald: Válvula descarga, se encuentra en la vía de salida de aire.
- Valb: Válvula bloqueo, se encuentra en la unión de las 2 válvulas anteriormente mencionadas.

Para realizar una simulación del sistema de aspiración y expulsión de aire se realizó a través de un software de simulación de circuito neumáticos que se asemejan al funcionamiento real, que se puede visualizar en la siguiente imagen.

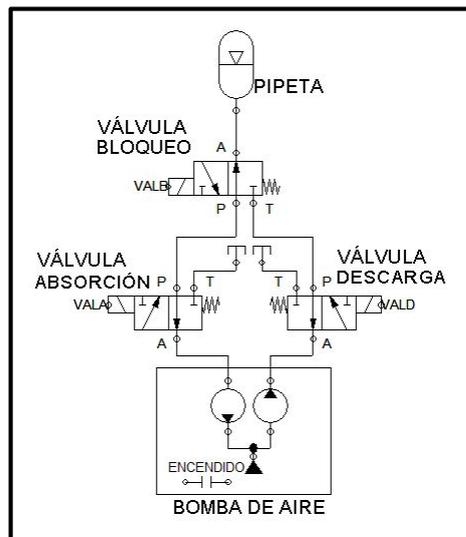


Figura 49 Circuito neumático

Donde se puede visualizar en el circuito neumático la bomba de aire y las válvulas, que serán controladas a través de dos botones que permitirá realizar la aspiración y expulsión de aire respectivamente. Esto se lo realizará a través de un microcontrolador como se aprecia en la siguiente imagen, donde se puede apreciar las entradas y salidas digitales que posee el microcontrolador.

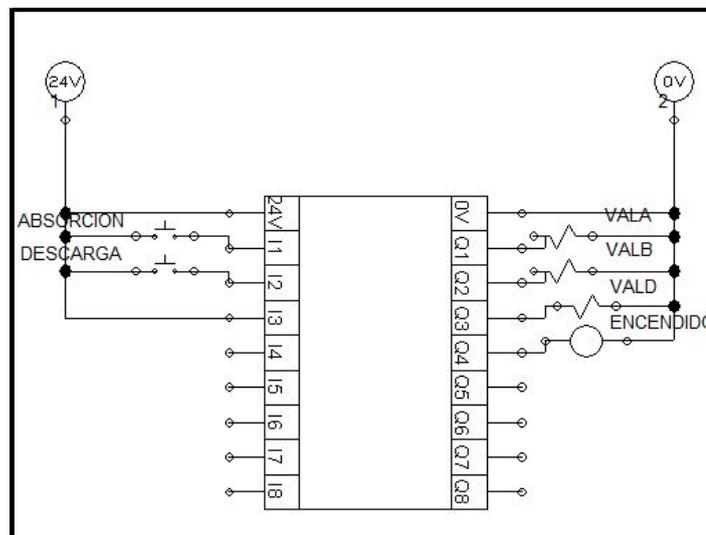


Figura 50 Esquema de conexión eléctrica

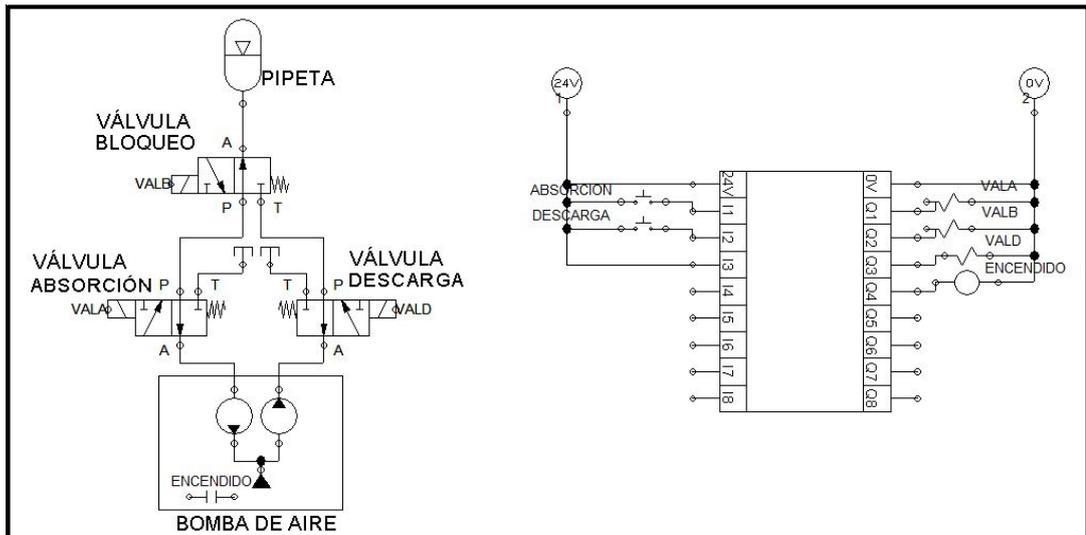


Figura 51 Circuito neumático y de conexión eléctrica

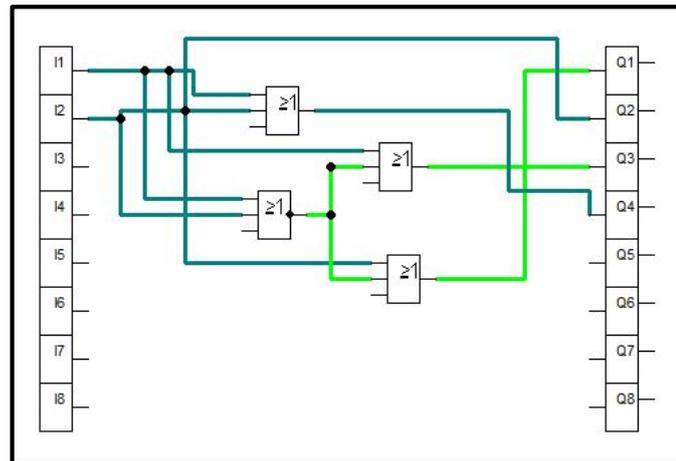


Figura 52 Lógica de programación

Función de absorción de aire

Para la absorción de aire, se activa la bomba de aire, la bobina de válvula absorción (vala) no será activada para que permita el paso para absorber el aire, mientras que la bobina de la válvula descarga (vald) será activada para que bloquee el paso de expulsión del aire y el aire sea expulsado al exterior. Por último, la bobina de válvula bloqueo (valb) no será activada para que permita el paso del aire que absorbe el líquido de la pipeta como se visualiza en la siguiente imagen.

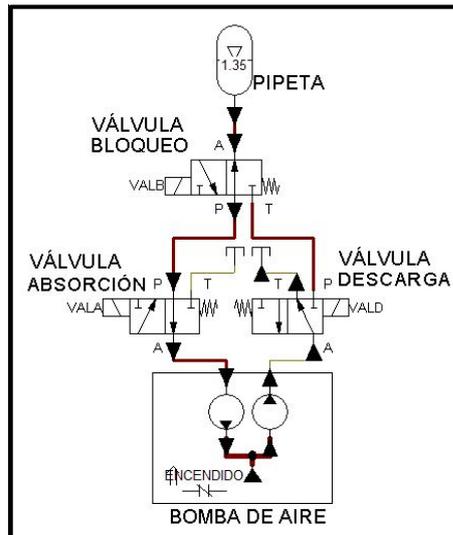


Figura 53 Funcionamiento del circuito neumático

Para que funcione esta etapa se debe presionar el botón de absorción como se visualiza en la siguiente imagen, donde se aprecia que la bomba y la bobina de válvula descarga son activadas, mientras que las otras bobinas de las válvulas no son activadas.

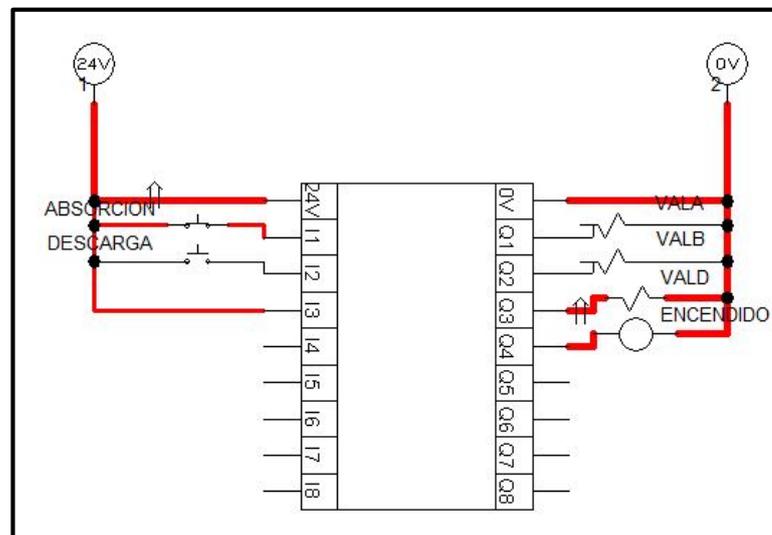


Figura 54 Esquema de conexión eléctrica

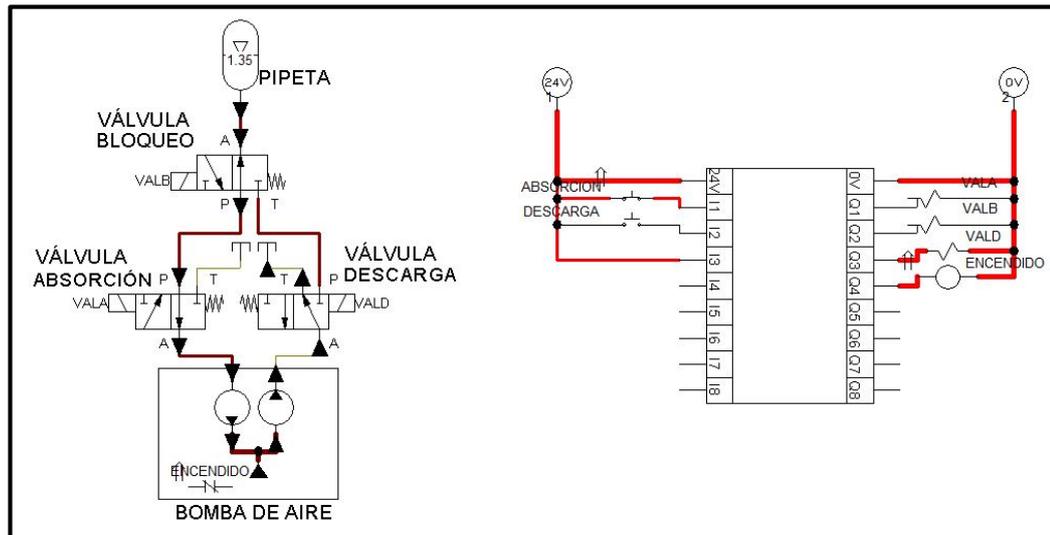


Figura 55 Circuito neumático y de conexión eléctrica

Función de expulsión de aire

Para la expulsión de aire, se activa la bomba de aire, la bobina de válvula absorción (vala) será activada para que bloquee el paso de absorción del aire y tome aire del exterior, mientras que la bobina de válvula descarga (vald) no será activada para que permita el paso para expulsar el aire. Por último, la bobina válvula bloqueo (valb) no será activada para que permita el paso del aire que expulsa el líquido de la pipeta como se visualiza en la siguiente imagen.

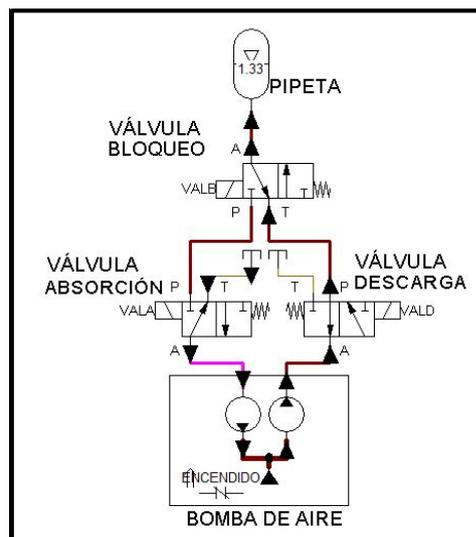


Figura 56 Funcionamiento del circuito neumático

Para que funcione esta etapa se debe presionar el botón de expulsión como se visualiza en la siguiente imagen, donde se aprecia que la bomba y las bobina de válvula descarga y bloqueo son activadas, mientras que la bobina de válvula absorción no son activadas.

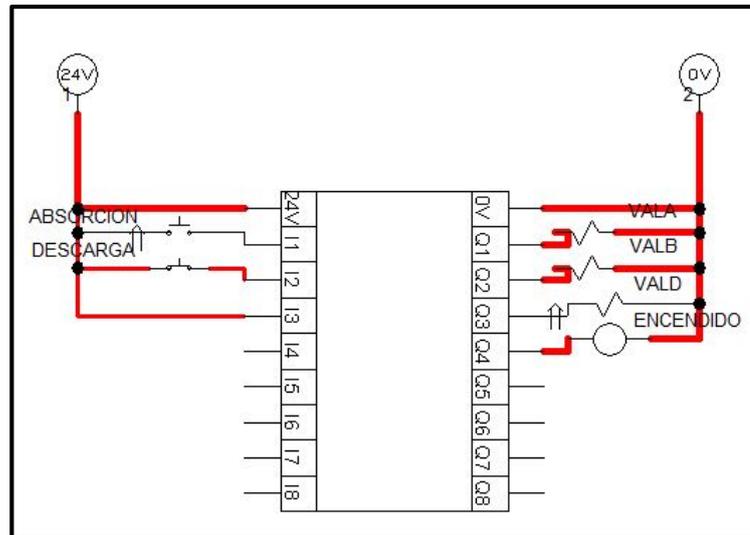


Figura 57 Esquema de conexión eléctrica

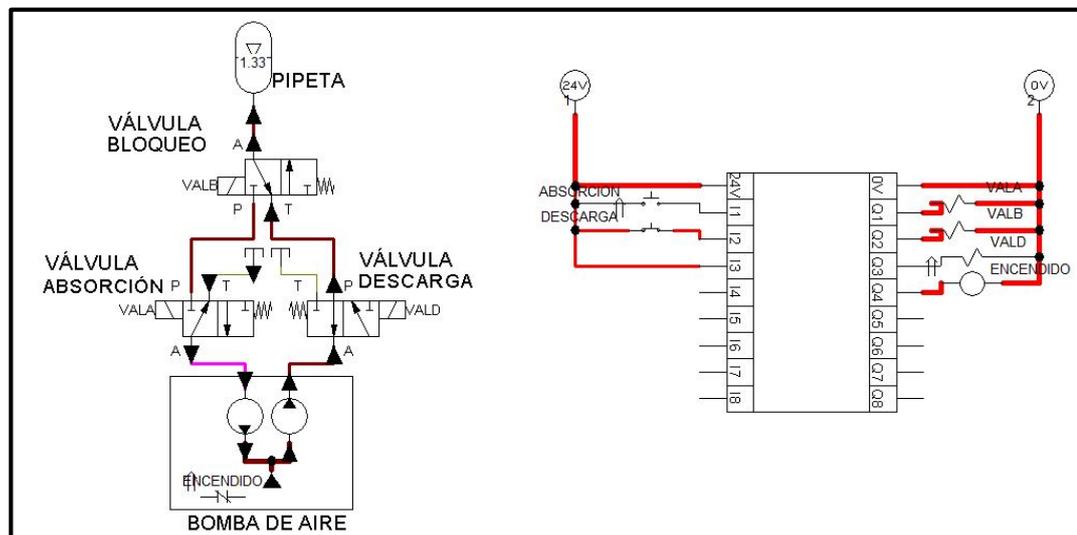


Figura 58 Circuito neumático y de conexión eléctrica

Función de bloqueo de aire

Para el bloqueo de aire, no se activa la bomba de aire, ya que no es necesario que absorba o expulse aire, la bobina de válvula absorción (vala) será activada para que no permita el paso del aire hacia la bomba, mientras que la bobina de la válvula descarga (vald) no será activada para que bloquee

el paso del aire que regresa hacia la bomba. Por último, la bobina de válvula bloqueo (valb) será activada para que no regrese el aire hacia la bomba, haciendo que se forme un vacío dentro de la pipeta para que pueda mantener el líquido en su medida como se visualiza en la siguiente imagen.

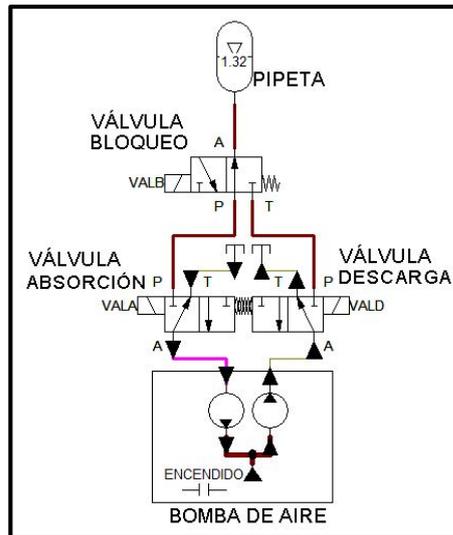


Figura 59 Funcionamiento del circuito neumático

Para que funcione esta etapa no se debe presionar ningún botón ya que esta función se la debe realizar en cualquier momento para que el líquido pueda ser mantenido en su medida como se visualiza en la siguiente imagen, donde se aprecia que la bobina de válvula absorción esta activada, mientras que la bomba y las bobina de válvula restantes no son activadas.

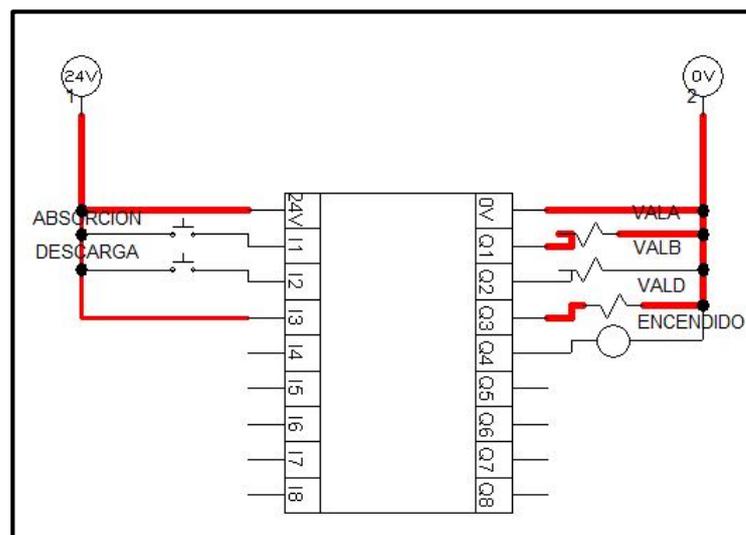


Figura 60 Esquema de conexión eléctrica

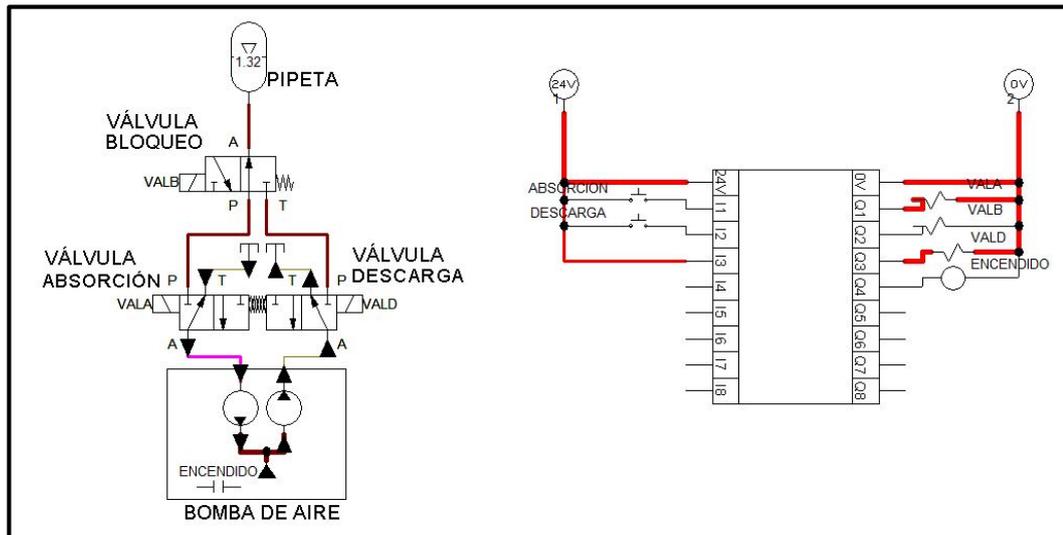


Figura 61 Circuito neumático y de conexión eléctrica

3.1.4 Microcontrolador

Para la selección del microcontrolador que controle todos los dispositivos electrónicos que operan en el equipo instrumental pipeteador, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Comunicación I2C (sensor)
- Comunicación bluetooth (módulo)
- 3 entradas digitales (pulsadores y switch)
- 4 salidas digitales (Sistemas de aspiración y expulsión)
- Tamaño pequeño

Con estos parámetros de trabajo, se selecciona el Arduino Nano, que posee un microcontrolador ATmega238 de arquitectura AVR, que posee las siguientes características:

- Voltaje de Operación: 5V
- Velocidad de Reloj: 16MHz
- E/S Digitales: 14
- Corriente: 19 mA
- Tamaño PCB: 18 x 45 mm

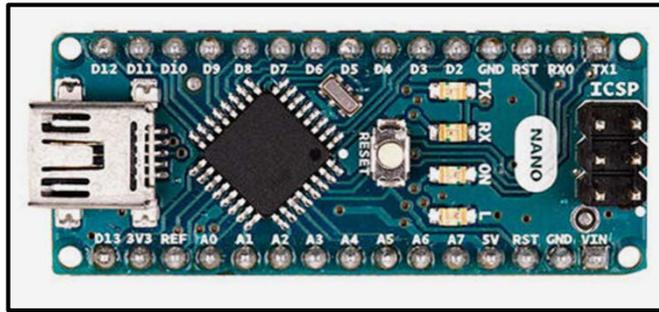


Figura 62 Arduino Nano

Cada uno de los 14 pines digitales en el Arduino Nano puede usarse como una entrada o salida, utilizando `pinMode ()` `digitalWrite ()`, y las funciones `digitalRead ()`. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia pull-up interna (desconectado por defecto) de 20-50 kOhms.

Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- Serie: 0 (RX) y 1 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y de transmisión de datos en serie (TX), que para nuestro caso se utilizará para conectar el módulo bluetooth para enviar los datos hacia el microcontrolador.
- I2C: 4 (SDA) y 5 (SCL). La comunicación I2C se utiliza con ayuda de la biblioteca `Wire`, dentro de la programación en Arduino. (Arduino, Arduino Nano, 2017)

En conclusión, el Arduino Nano cumple con los requisitos necesarios para la implementación en el proyecto.

3.2 Diseño de los componentes mecánicos.

Para el diseño de la estructura de protección del equipo, primeramente pasará por una fase sobre desarrollo de prototipos, la cual brindará una visión general del equipo, que garantice el cumplimiento con el funcionamiento del proyecto en la parte mecánica, para que en la etapa de diseño CAD, se realice su dimensionamiento y simulación en el programa CAD correspondiente y así finalmente fase de detalle seleccionar el material, el proceso de fabricación y ensamblaje de los componentes como botones, mangueras, etc.

Después de cada etapa se realizarán su análisis dinámico para verificar que cumplan con las normas establecidas para el cumplimiento del diseño de la estructura de protección del equipo que contendrá todos los elementos electrónicos.

No se tiene limitantes para el manejo de líquidos ya que el equipo se va a utilizar en el área de cultivo celular donde se manejan sustancias que no son irritantes, gaseosas o tóxicas.

El equipo contará con un filtro diseñado el cual ayudará a prevenir la contaminación por arrastre de las muestras, y el paso de líquido acuoso al equipo instrumental.

3.2.1 Diseño del mecanismo de adaptación a la pipeta.

3.2.1.1 Sujeción del sensor.

Para la sujeción del sensor y su funcionamiento se diseñó un acople que permita introducir el sensor dentro de este, para sensar la diferencia de presión dentro de la pipeta y de esta manera controlar el equipo. Se lo realizó en base a la adaptabilidad que pueda tener dentro de la estructura de protección del equipo.

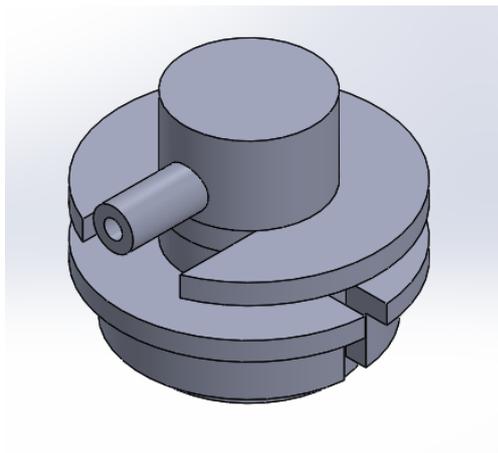


Figura 63 Modelamiento del acople

Se procede a realizar un análisis de elementos finitos, seleccionando como material la resina, analizando el soporte en el cilindro donde se conecta la manguera hacia la válvula solenoide, mediante la técnica de elementos

finitos se puede analizar cómo actúa este cilindro a través del siguiente gráfico.

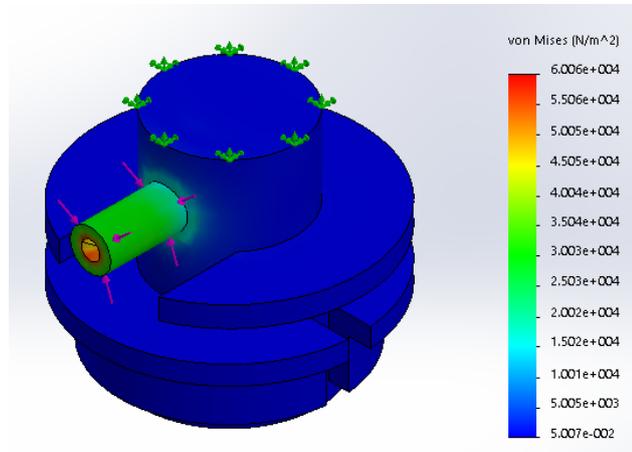


Figura 64 Análisis dinámico

Donde se puede apreciar que soporta tensiones que puedan existir cuando se realizan las pruebas con este acople que va unido al sensor. Pero no se va a romper la parte del cilindro por lo que está correctamente diseñado para que pueda ser fabricada esta pieza.

3.2.1.2 Tubería

Para la unión entre los diferentes componentes electrónicos y mecánicos que transportan el aire desde la bomba de membrana hasta la pipeta se necesita de una tipo de tubería para la misma. Por este motivo se seleccionó una manguera estandarizada para que sea utilizada en cada unión de componentes.

Por este motivo se seleccionó la manguera de silicona debido a que es diseñada para aplicaciones de alta pureza, en su superficie interior es ultra lisa de este modo reduce el riesgo de retención de partículas y la acumulación microscópica durante la transferencia de fluido o aire. Su composición las hace inodoras insípidas y atóxicas.

Son especialmente utilizadas para industria de alimentación, química, farmacéutica y laboratorios. Posee gran flexibilidad y resistencia a las altas temperaturas, que van desde -55° C a +160° C. Al ser atóxica no permite que haya contaminación durante todo el proceso de transporte de aire.

La manguera de silicona atóxica utilizada es de 2 mm de diámetro interno, 4 mm de diámetro externo. La manguera como posee la característica de ser flexible permite que se pueda acoplar a las diferentes salidas y entradas de aire del sistema de aspiración (bomba y válvulas solenoides) y mecánicos (sujeción del sensor). De esta manera permite que no exista fuga de aire garantizando que en todo el proceso sea de forma hermética.



Figura 65 Manguera de silicona

3.2.1.3 Soporte de silicona

El soporte de silicona ayuda a que se pueda realizar un intercambio de pipetas con el pipeteador, utilizando la medida de pipeta correspondiente al trabajo o proceso que se vaya a realizar. Su principal característica que al ser el material de silicona hace que las pipetas puedan entrar o salir sin dificultad y el émbolo de la pipeta no sea dañado y pueda utilizar las veces que se requiera. Al unir el émbolo de la pipeta con el soporte de silicona hace que el proceso sea hermético y no exista fuga de aire para absorber, retener o expulsar el líquido de la pipeta.



Figura 66 Soporte de silicona

3.2.1.4 Filtro

El filtro de membrana tiene la propiedad de ser hidrófobo, esto quiere decir, que no absorbe el agua o sustancia que llegue a este, de esta manera el filtro protege el equipo instrumental pipeteador contra la penetración de líquido. También este filtro protegerá de las impurezas que exista por contaminación hacia el equipo instrumental pipeteador permitiendo que todo el proceso sea libre de desperdicios y seguro. El tiempo de vida del filtro depende la buena utilización del equipo que no permite que el líquido toque la membrana del filtro, puede durar hasta 6 meses con un trabajo moderado del equipo.



Figura 67 Filtro

3.2.2 Diseño mecánico de la estructura de protección para el equipo instrumental.

Para el diseño de la estructura de protección para el equipo instrumental pipeteador se tomó en cuenta el factor ergonómico que contiene los otros equipos auxiliares de pipeteado, ya que nos sirve de guía para realizar un diseño similar pero de diferentes medidas para el equipo instrumental.

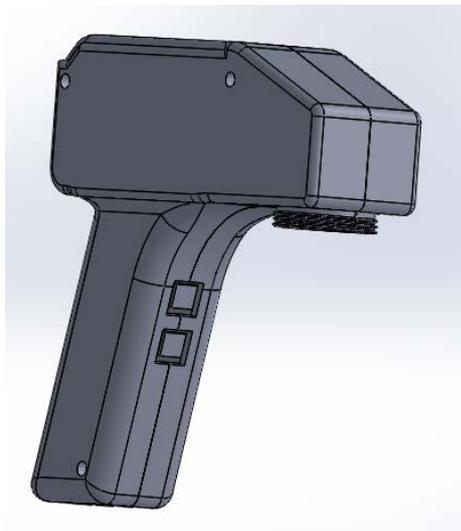


Figura 68 Estructura de protección

En base a las medidas de los componentes electrónicos que se utilizan en el equipo instrumental que contendrá en el interior de la estructura se tendrán los siguientes elementos:

- Sujeción del sensor

- Sistema de aspiración
- Placa microcontrolador
- Placa sensor
- Módulo bluetooth
- 3 válvulas solenoides
- 2 pulsadores (aspiración y expulsión)
- 1 selector (manual o automático)
- 1 switch (prendido o apagado)
- Batería
- Pin de cargador

En base a estos elementos se realiza el diseño de un prototipo de la estructura de protección que contenga todos los elementos antes mencionados y que sea de fácil uso para el usuario. Se dividirá en dos partes la estructura para que luego pueda ser ensamblada y colocada todos los componentes mecánicos y electrónicos que contenga para el funcionamiento del equipo.

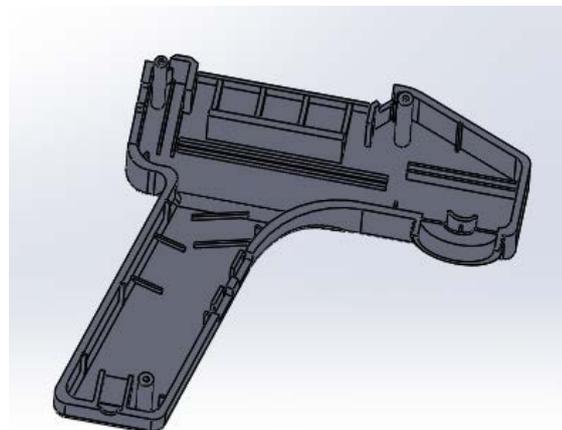


Figura 69 Lado izquierdo interior

El lado izquierdo será el que contenga todos los componentes divididos en secciones para su mejor distribución. Dentro de la parte interna, cada sección tendrá la medida exacta para que el elemento sea contenido de una manera más precisa como se visualiza en la imagen anterior. Para su parte externa tiene que ser ergonómica para que sea de fácil manejo y agarre por

la palma de la mano, de esa manera se asegura una operación segura con el equipo instrumental pipeteador, como se visualiza en la siguiente imagen:



Figura 70 Lado izquierdo exterior

El lado derecho en cambio, asegurará los elementos que están contenidos por el lado izquierdo de la estructura, para que pueda ser manipulado sin problemas, haciendo del equipo seguro y de un diseño robusto.

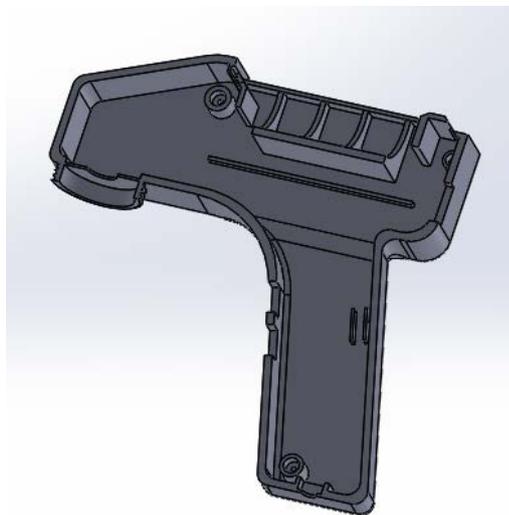


Figura 71 Lado derecho interior

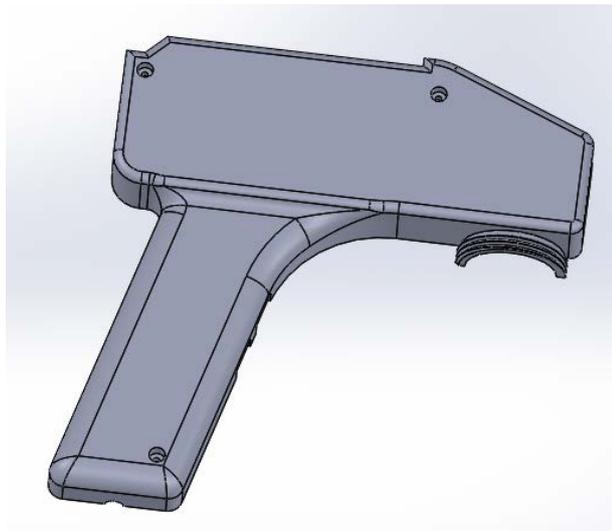


Figura 72 Lado izquierdo exterior

Se debe realizar un análisis de elementos finitos, seleccionando el material PLA, ya que será prototipada en ese material, teniendo mayor consideración el mango del equipo para conocer hasta que fuerza puede ser aplicada sin necesidad que este se rompa o se deforme, para lo cual mediante la técnica de elementos finitos se puede analizar la resistencia del mango del equipo.

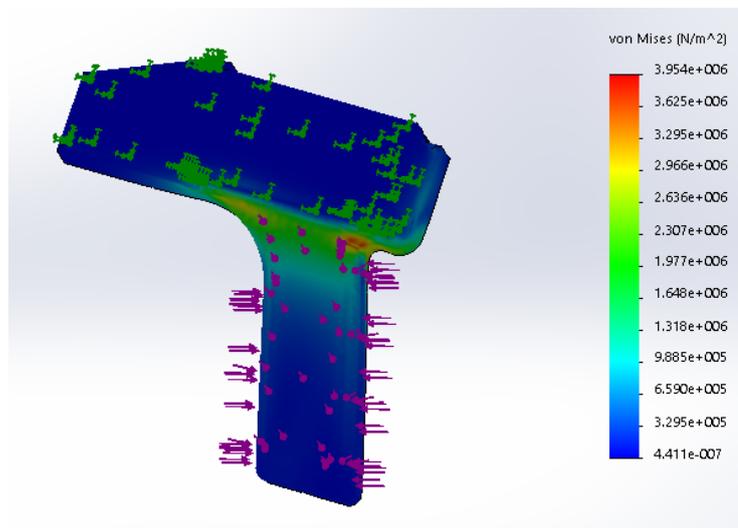


Figura 73 Análisis dinámico en el mango de la estructura

Se puede visualizar, que la tensión máxima que soporta el mango se da en la zona de unión con la parte superior, por lo demás el mango soporta una tensión de 10×10^5 N/m², aplicando una fuerza de 20 N, así que el mango está correctamente diseñado para que pueda ser manipulado por el usuario.

3.2.2.1 Cilindros de soporte

Se colocan 3 cilindros de soporte, para que protejan los componentes dentro de la estructura de protección, y serán colocados en 3 puntos de apoyo para su soporte.

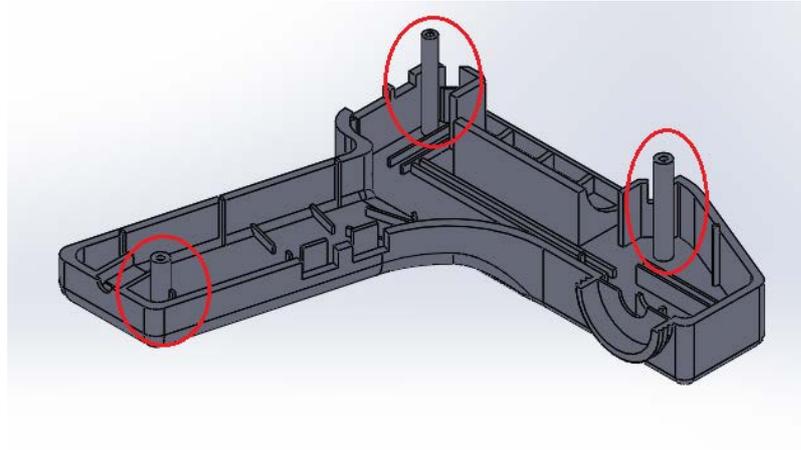


Figura 74 Cilindros de soporte

Se procede a realizar un análisis de elementos finitos para que los cilindros soporten una carga de 1 Kg, mediante la técnica de elementos finitos se puede analizar cómo actúan estos cilindros como se muestra en el siguiente gráfico.

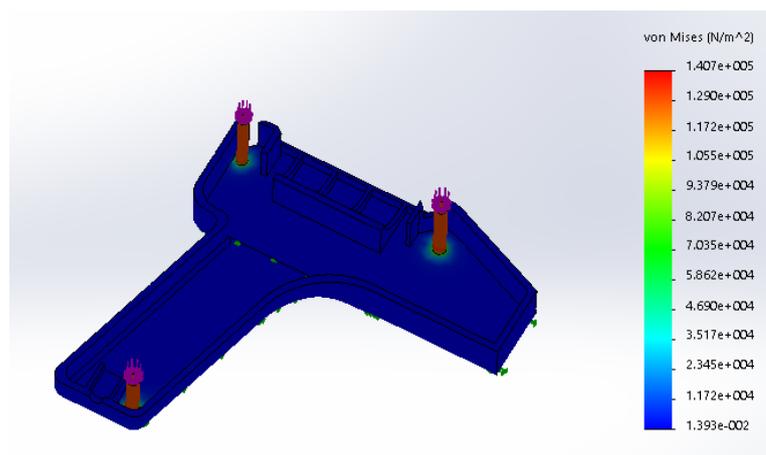


Figura 75 Análisis dinámico

Se puede visualizar en la imagen anterior que existe una deflexión máxima de $1,407 \times 10^{-5}$ N/m², por lo cual se puede concluir que los cilindros si pueden soportar una carga de 1 Kg sobre ellos sin que se rompan estos. Si la aplica más fuerza empiezan a deformarse y se pueden romper estos cilindros.

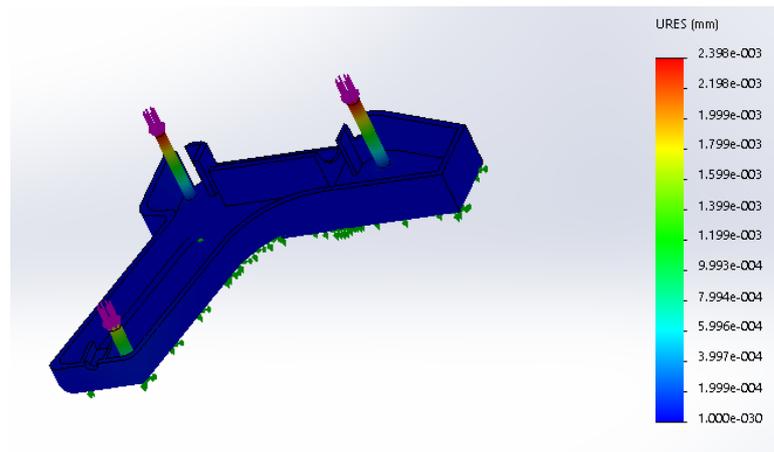


Figura 76 Análisis de desplazamiento

Para el análisis de desplazamiento, como se aprecia en la imagen anterior, se visualiza que existe un desplazamiento máximo de 0,002 mm en la parte superior de cada cilindro, por lo cual se concluye que no va afectar en la estructura interna y no se van a doblar o quebrar cuando se esté trabajando con el equipo instrumental.

3.2.2.2 Roscado macho para embudo

Para realizar el roscado sobre la unión con el embudo, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos mencionados por (Budynas, 2008) para las normas y definiciones de roscas:

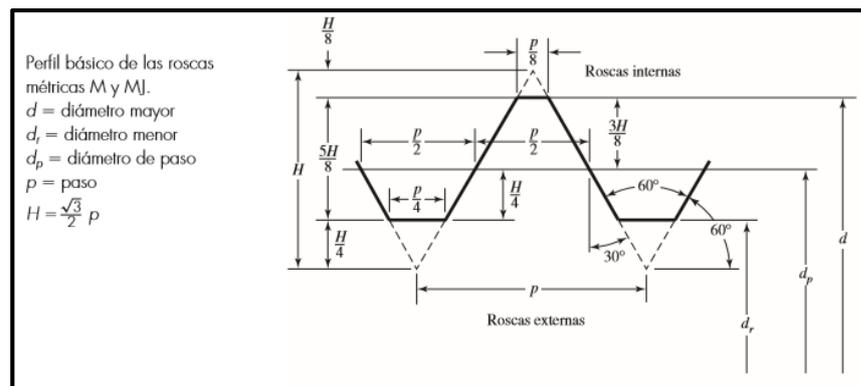


Figura 77 Roscado

Fuente: (Budynas, 2008)

- El paso, es la distancia entre dos cuerdas adyacentes y medida de forma paralela al eje de la rosca.
- El diámetro d , es el diámetro mayor de una rosca.

- El diámetro d_r , es el diámetro menor de una rosca.
- El diámetro de paso d_p , es un diámetro de forma teórica entre los diámetros mayores y menores.

Se tiene de datos al momento de realizar el diseño, el diámetro nominal de 30 mm y con ayuda de la imagen siguiente de diámetros y áreas de roscas métricas de paso fino y grueso, se puede elegir el paso para su diseño.

Diámetro nominal d_r , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p_r , mm	Área de esfuerzo de tensión A_r , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p_r , mm	Área de esfuerzo de tensión A_r , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

Figura 78 Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino

Fuente: (Budynas, 2008)

Se elige realizar una rosca de paso fino, donde indica que el paso es de 2 mm, a continuación se calcula H, altura del triángulo inscrito, para su diseño:

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} * P \quad (3-1)$$

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} * 2$$

$$H = 1,732$$

Con el dato calculado de H, altura del triángulo inscrito, se dibuja un perfil de corte neto para roscas macho, con la cual se puede realizar el barrido para realizar la rosca:

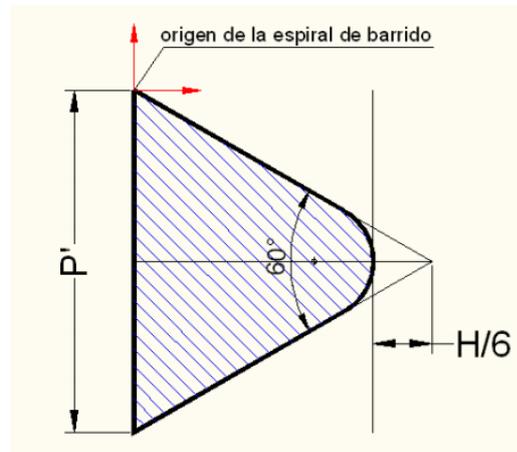


Figura 79 Perfil de corte neto para rosca macho.

Fuente: (Esquinas, 2010)

Para dibujar este perfil, los flancos deben formar 60° entre sí, el centro de la circunferencia se debe encontrar sobre la bisectriz y ser tangente a ambos flancos, y también ser vertical a $H/6$ desde el vértice. Para calcular el paso reducido, se aplica la siguiente ecuación:

$$P' = \frac{7}{8} * P \quad (3-2)$$

$$P' = \frac{7}{8} * 2$$

$$P' = 1,75$$

Por último se necesita obtener el dato de $H/6$ que es de 0,289. Se procede a realizar el barrido sobre la superficie que se inserta el roscado macho.

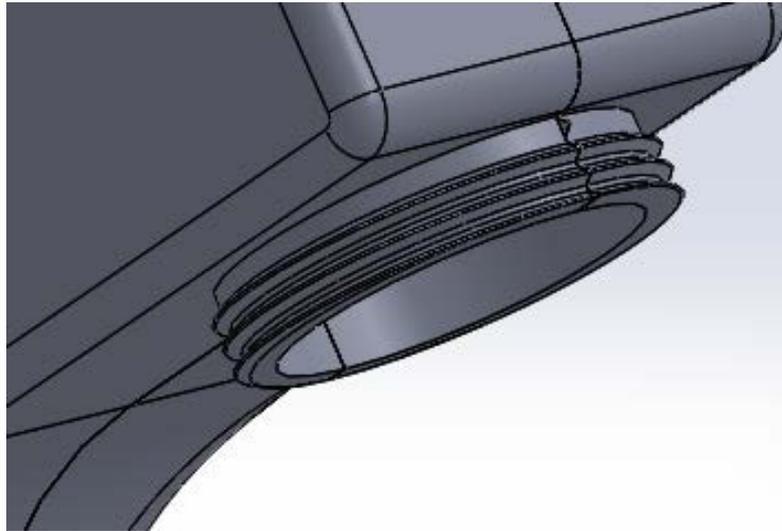


Figura 80 Perfil roscado.

3.2.2.3 Roscado hembra para tornillos

Para colocar los tornillos de protección en la estructura de protección del equipo, se debe realizar un roscado interior sobre los cilindros de soporte, para que puedan asegurarse los tornillos. Para esto con ayuda de la figura 78, se selecciona un tornillo de diámetro M2, de 10 mm de largo y el paso es 0.40, a continuación se calcula H, altura del triángulo inscrito, para su diseño:

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} * P \quad (3-3)$$

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} * 0,40$$

$$H = 0,346$$

Con el dato calculado de H, altura del triángulo inscrito, se dibuja un perfil de corte neto para roscas hembra, con la cual se puede realizar el barrido para realizar la rosca:

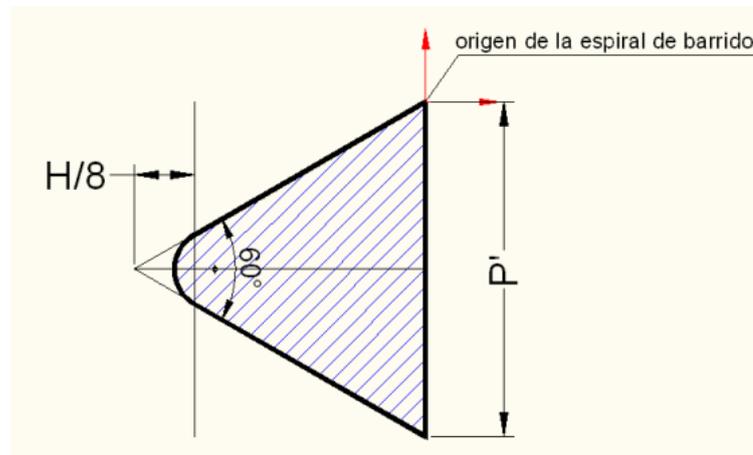


Figura 81 Perfil de corte neto para rosca hembra.

Fuente: (Esquinas, 2010)

Para dibujar este perfil, los flancos deben formar 60° entre sí, el centro de la circunferencia se debe encontrar sobre la bisectriz con su secante a $H/8$ del vértice. Para calcular el paso reducido, se aplica la siguiente ecuación:

$$P' = \frac{3}{4} * P \quad (3-4)$$

$$P' = \frac{3}{4} * 0,40$$

$$P' = 0,3$$

Por último se necesita obtener el dato de $H/8$ que es de 0,043. Se procede a realizar el barrido sobre la superficie que se inserta el roscado hembra.

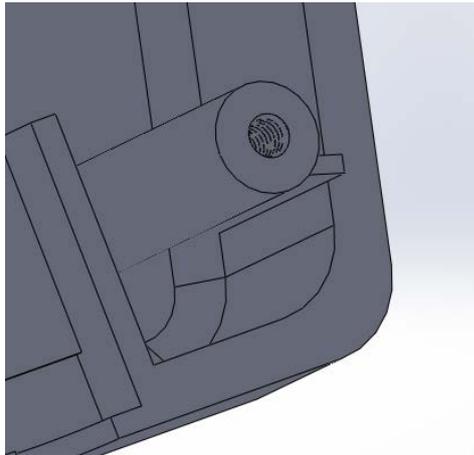


Figura 82 Perfil roscado

3.3 Diseño para la placa y sistema del control

Se debe implementar un control para la medida de volumen del líquido entre 1 a 100 ml, que permitirá aspirar y expulsar hacia la pipeta, la configuración de distintas velocidades de líquido en el momento de la expulsión.

3.3.1 Placa de control

3.3.1.1 Acondicionamiento de señal de sensor

Para la obtención de la señal del sensor es necesario realizar un circuito de acondicionamiento para poder utilizar los pines SDA Y SCL mediante la comunicación I2C que permitirá utilizar los datos para el control sensor. Para lo cual se utiliza el datasheet del sensor LPS22HB donde indica la conexión y función de cada uno de los pines.

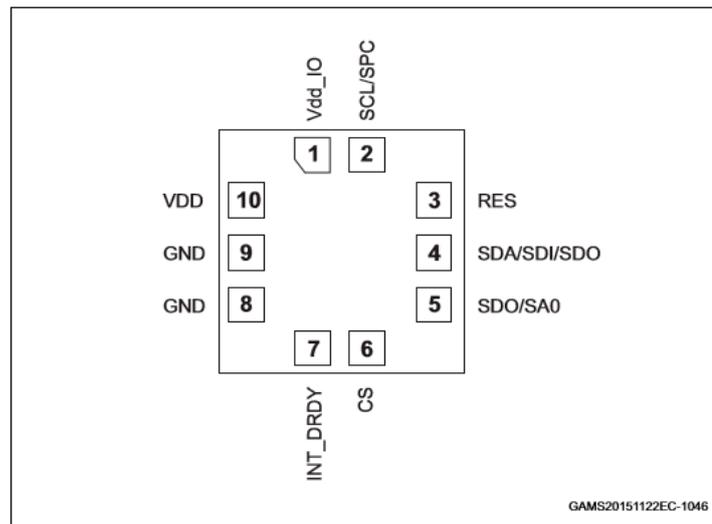


Figura 83 Esquema del sensor

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

Pin number	Name	Function
1	Vdd_IO	Power supply for I/O pins
2	SCL SPC	I ² C serial clock (SCL) SPI serial port clock (SPC)
3	Reserved	Connect to GND
4	SDA SDI SDI/SDO	I ² C serial data (SDA) 4-wire SPI serial data input (SDI) 3-wire serial data input/output (SDI/SDO)
5	SDO SA0	4-wire SPI serial data output (SDO) I ² C less significant bit of the device address (SA0)
6	CS	SPI enable I ² C/SPI mode selection (1: SPI idle mode / I ² C communication enabled; 0: SPI communication mode / I ² C disabled)
7	INT_DRDY	Interrupt or Data Ready
8	GND	0 V supply
9	GND	0 V supply
10	VDD	Power supply

Figura 84 Asignación de las funciones de cada PIN

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

Mediante la hoja de datos del sensor LPS22HB, indican la conexión de los pines para su funcionamiento más óptimo, en las que indica que la fuente de alimentación del sensor debe proporcionarse a través del pin VDD. El condensador de desacoplamiento de la fuente de alimentación C1 (100 nF) debe colocarse lo más cerca posible de los pines de alimentación del sensor. Dependiendo de la aplicación, se podría colocar un condensador adicional de 4,7 μ F en la línea VDD. La funcionalidad del sensor y las salidas de datos

medidos son seleccionables y accesibles a través de la interfaz I²C / SPI, como se puede observar en la conexión eléctrica del sensor. (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

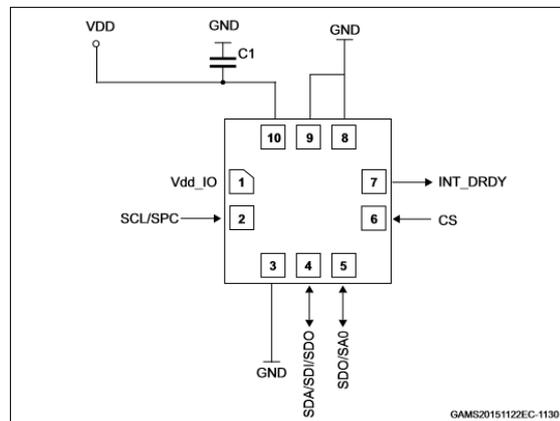


Figura 85 Conexión eléctrica del sensor

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

Por tal motivo se busca un módulo adaptable para que facilite la evaluación del sensor. Se selecciona la tarjeta STEVAL-MET001V1 que ofrece una solución efectiva para la evaluación del sensor directamente desde la aplicación del usuario. El STEVAL-MET001V1 se puede conectar a un conector DIL 24 estándar. El adaptador proporciona el pin-out LPS22HB completo y viene preparado con los condensadores de desacoplamiento necesarios en la línea de alimentación VDD. De esta manera se tiene una solución óptima para la evaluación del sensor.

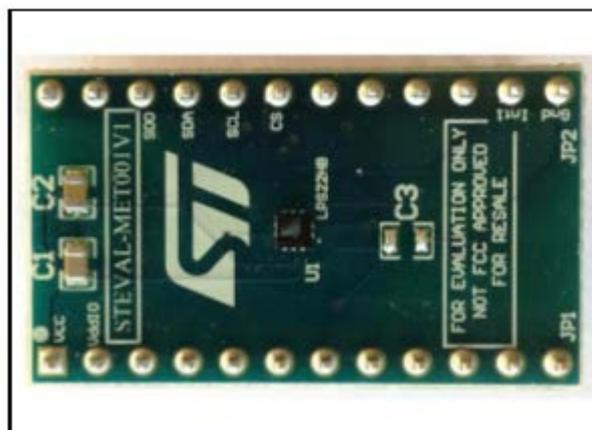


Figura 86 STEVAL-MET001V1

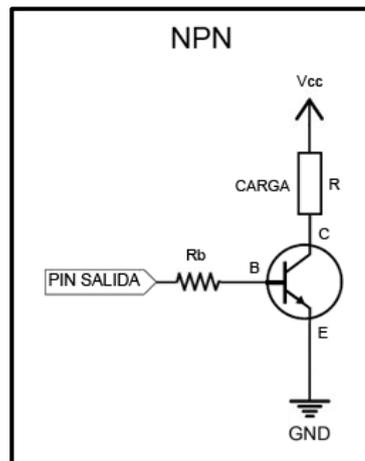


Figura 88 Conexión de un transistor NPN

Fuente: (Arduino, Señales analógicas de salida en Arduino (PWM), 2016)

Para la alimentar la bomba de aspiración y expulsión de aire, la corriente con la que trabaja es de 800 mA, con la tensión que entrega la batería de 3,7 V. Seleccionamos el transistor TIP 122 ya que soporta corrientes de hasta 5 A y es ideal para nuestra aplicación y con ayuda de la hoja de datos del transistor tenemos el dato de hfe (factor de amplificación) es de 1000 y V_{BE} ES 0,7V, de esta manera la fórmula aplicada sería:

$$R_b = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{\frac{I_C}{h_{FE}}} \quad (3 - 5)$$

$$R_b = \frac{3,7 - 0,7}{\frac{0,8}{1000}}$$

$$R_b = 3750\Omega$$

Elegimos una resistencia normalizada que sea inferior a la calculada comprobando que la tensión de la base es suficiente para que el transistor se sature. Se pone un diodo de protección (1N4007) para que no se regrese la corriente al momento que se sature el transistor Por este motivo elegimos la resistencia de 1K Ω para la base y el circuito quedaría de la siguiente manera.

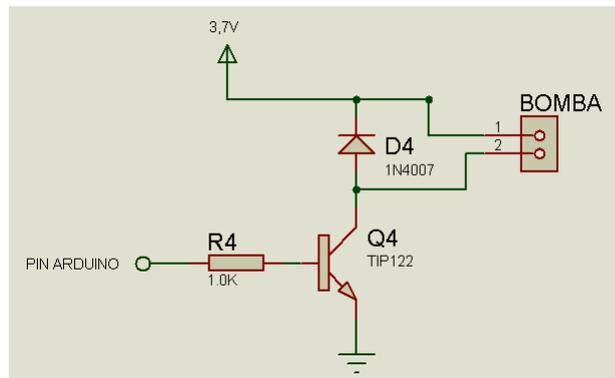


Figura 89 Esquema del transistor

Para la alimentar el solenoide de las válvulas, la corriente con la que trabaja es de 200 mA, con la tensión que entrega la batería de 3,7 V. Seleccionamos el transistor 2n2222 ya que soporta corrientes de hasta 0,5 A y es ideal para nuestra aplicación y con ayuda de la hoja de datos del transistor tenemos el dato de hfe (factor de amplificación) es de 150 y V_{BE} ES 0,7V, de esta manera la fórmula aplicada sería:

$$R_b = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{I_C}{h_{FE}}} \quad (3 - 6)$$

$$R_b = \frac{3,7 - 0,7}{\frac{0,2}{150}}$$

$$R_b = 2250\Omega$$

Elegimos una resistencia normalizada que sea inferior a la calculada comprobando que la tensión de la base es suficiente para que el transistor se sature. Se pone un diodo de protección (1N4007) para que no se regrese la corriente al momento que se sature el transistor Por este motivo elegimos la resistencia de 2,2 K Ω para la base y el circuito quedaría de la siguiente manera.

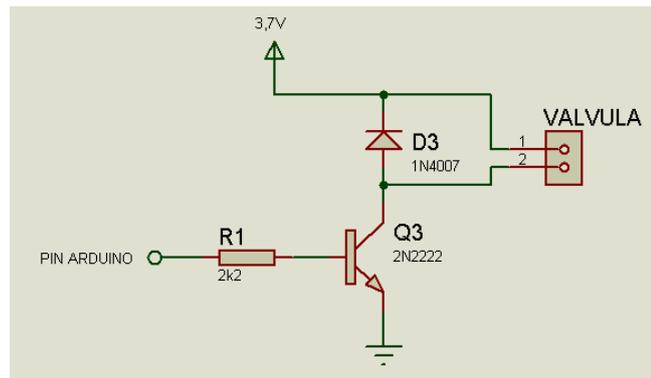


Figura 90 Esquema del transistor

3.3.1.3 Circuito para el funcionamiento sensor-microcontrolador

Para que los pines SDA Y CS funcionen para la señal I2C hacia el microcontrolador se debe verificar la conexión de todos los fines de la tarjeta STEVAL-MET001V1 mediante la hoja de datos nos indica que el pin CS debe conectarse a VDD para que sea habilitada la comunicación I2C y el pin SDO conectado a tierra. La alimentación debe ser de 3,3V conectado a la fuente de alimentación que nos otorga el microcontrolador Arduino Nano. Para la conexión de los pines SDA y SCL se deben colocar resistencias pull up (330 Ohm) que permitan la transmisión de datos hacia el microcontrolador. De esta manera el circuito quedaría de la siguiente manera.

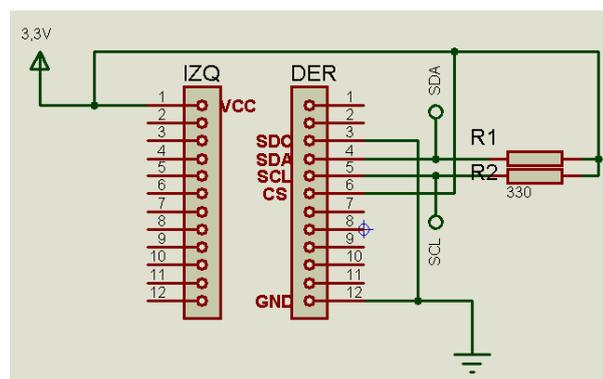


Figura 91 Esquema de la placa para el sensor

3.3.1.4 Circuito final y diseño placa PCB

Se diseñó el circuito final y diseño de la placa PCB del equipo instrumental pipeteador que integre el microcontrolador junto con el sistema de aspiración, pulsadores y sensor que se utilizan en todo el sistema de control.

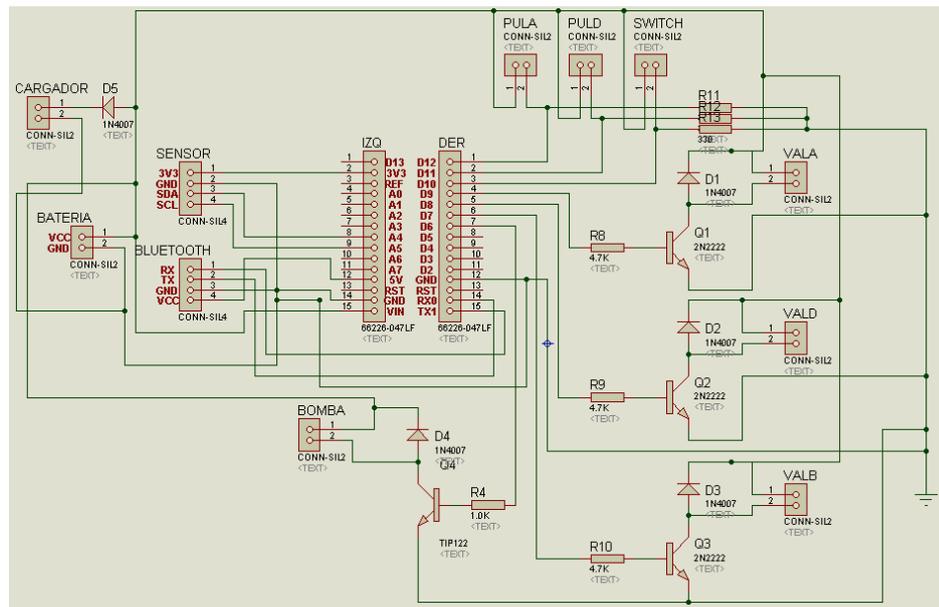


Figura 92 Esquema total de la placa PCB

3.3.2 Obtención de la ecuación del sistema

Para la obtención de la ecuación del sistema es necesario obtener las lecturas del sensor, que para este caso nos da un valor de presión, que va variando según sea el cambio de presión interna que tenga la pipeta al entrar o salir líquido de ella, para eso es necesario modelar a través de una ecuación que controle de manera automática la cantidad de líquido que desea el usuario trabajar, seteada a través de la interfaz humano máquina hacia el microcontrolador que será el que controle todo el sistema.

3.3.3 Interpretación de las lecturas del sensor

El valor de salida de presión es un dato de 24 bits que contiene la presión medida. Se componen de PRESS_OUT_H (0x2A), PRESS_OUT_L (0x29) y PRESS_OUT_XL (0x28). Ambos valores se almacenan como dos enteros del complemento como se ilustra a continuación.

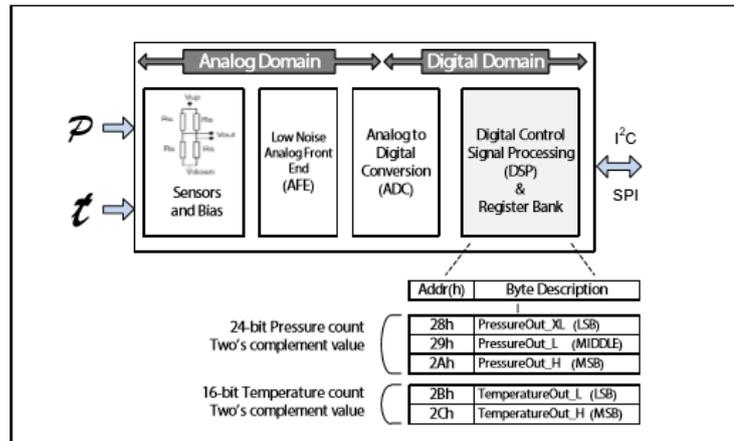


Figura 93 Flujo de datos del sensor de presión de analógico a digital

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

Guardada la presión en estos 3 registros, PressOut_H, PressOut_L y PressOut_XL. El bit más significativo del registro PressOut_H indica la polaridad. Si el bit de signo es cero, entonces el valor es positivo y la presión en mbar se determina dividiendo el valor decimal por el factor de escala de 4096. Un bit de signo de 1 indica un valor negativo, y se calculará dividiendo el complemento de dos para completar el registro y luego dividir por 4096. (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

Al leer el valor de la presión, es importante anotar el orden de los bytes. Esto es especialmente importante en el modo de incremento automático cuando la dirección se incrementa automáticamente. Se debe ensamblar el formato 24-bit apropiado (recuento de presión = 2Ah & 29h & 28h). Un ejemplo de un cálculo de presión cuando el bit de signo es 0 se muestra en la siguiente figura.

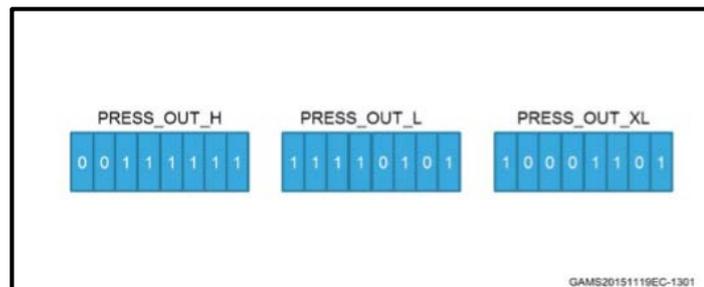


Figura 94 Orden de Bits de adquisición

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

De esta manera para calcular el valor de la presión en valor decimal se aplicará la ecuación como se muestra en la siguiente imagen:

$$\begin{aligned} \text{Pressure Value (LSB)} &= \text{PRESS_OUT_H (2Ah)} \& \text{PRESS_OUT_L (29h)} \& \text{PRESS_OUT_XL (28h)} \\ &= 3FF58Dh = 4191629 \text{ LSB (decimal signed)} \end{aligned}$$

Figura 95 Ecuación para valor de presión en formato decimal

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

Una vez obtenido el valor de la presión en formato decimal se procede a dividirlo para el factor de escala 4096 y de esta manera se obtendrá el valor real de presión entregado en hPa, como se muestra la siguiente imagen:

$$\text{Pressure (hPa)} = \frac{\text{Pressure Value (LSB)}}{\text{Scaling Factor}} = \frac{4191629 \text{ LSB}}{4096 \text{ LSB/hPa}} = 1023.3\text{hPa}$$

Figura 96 Ecuación para valor de presión real

Fuente: (STMicroelectronics, LPS22HB, 2015)

3.3.4 Modelamiento matemático

El cálculo de nivel en recipientes cerrados, como es el caso de la pipeta cuando entra el líquido, todo el sistema es cerrado, se debe considerar una compensación de la presión causada por el gas encerrado encima del líquido.

Para calcular este nivel, se parte de la presión hidrostática que existe dentro del recipiente cerrado, basándose en los siguientes parámetros se obtiene la ecuación:

$$h = \frac{p_2 - p_1}{\rho * g} \quad (3 - 7)$$

Siendo:

- p_2 = presión hidrostática [hPa]
- p_1 = presión del gas atrapado en el depósito [hPa]
- ρ = densidad del líquido [kg / m³]
- g = gravedad o gravedad [m / s²]
- h = altura de la columna de líquido [m]

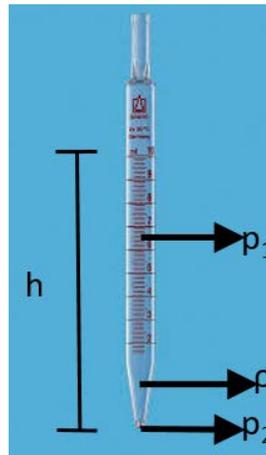


Figura 97 Nivel de líquido y presión en la pipeta

Mediante esta fórmula que incluye la compensación de la presión del aire contenido en la pipeta, sobre el valor de medición, se puede calcular el nivel de siguiente manera:

Como datos conocidos tenemos la presión atmosférica sobre Sangolquí, en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, que es de 760 hPa, al momento de utilizar el equipo, debe estar sobre la superficie del líquido y por este motivo se produce la presión hidrostática, la densidad del líquido va a ser similar a la del agua por tal razón se tendrá una densidad de $1 \text{ kg} / \text{m}^3$, la gravedad es de $9,8 \text{ N}$ y si se desea conocer la cantidad de líquido que tiene la pipeta, solo se necesita saber el valor de la presión con la cual trabaja en dicha medida, con ayuda del sensor que obtiene ese valor.

Como la gravedad es un valor que no va a incidir en el modelamiento de nuestro sistema, debido a que es valor constante. Por tal motivo la ecuación quedaría de la siguiente forma.

$$h = p_2 - p_1 \quad (3 - 8)$$

Se obtiene una ecuación, que por diferencia de presiones internas de la pipeta, se obtendrá el valor de la cantidad de volumen a cierta altura de la pipeta.

3.3.5 Modelamiento de la ecuación de forma digital

Para obtener la ecuación del volumen en la pipeta, es necesario conocer la presión interna en cada medida. Para esto, este valor será obtenido a través del sensor de presión que medirá la presión interna que va variando al momento que ingrese líquido a través de la pipeta y la presión se verá reducida por este motivo.

Por este motivo la ecuación con la que se trabajará en la programación dentro del microcontrolador será:

$$\frac{p_2}{p_1} * X + h = 0 \quad (3 - 9)$$

Siendo:

- p_2 = presión hidrostática [hPa]
- p_1 = presión del gas atrapado en el depósito [hPa]
- h = altura de la columna de líquido [m]

3.4 Diseño del software

Para el diseño del software se hace en base a lo estipulado en la norma INEN-ISO 9241 que destina a ayudar a los desarrolladores a hacer que los equipos y servicios TIC (y los futuros equipos y servicios nuevos o innovadores) puedan ser utilizados por la más amplia gama de personas, independientemente de sus capacidades o discapacidades, sus limitaciones o su cultura. (Instituto Ecuatoriano de Normalización "INEN", Ergonomía de Interacción Hombre-Sistema INEN-ISO 9241, 2014)

3.4.1 Diseño de la Interfaz Humano Máquina (HMI)

Para el diseño de la Interfaz Humano Máquina (HMI) se la realizó a través del software MIT App Inventor, software libre creado por Massachusetts Institute of Technology (MIT), que permite realizar aplicaciones para la plataforma Android y su operación en los diferentes dispositivos móviles con en el sistema operativo antes mencionado.

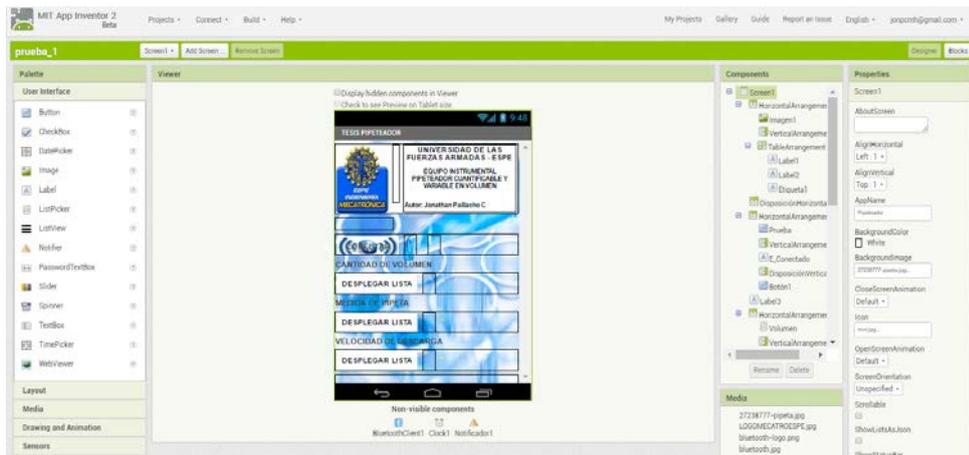


Figura 98 Diseño de la interfaz humano máquina.

Al diseñar las aplicaciones para Android se trabaja con dos herramientas: Designer y Blocks. En Designer se construye la Interfaz de Usuario, seleccionando y situando los elementos e imágenes con los que el usuario interactuará junto a los componentes que utilizará la aplicación. En Editor se define las funciones de los componentes de la aplicación.

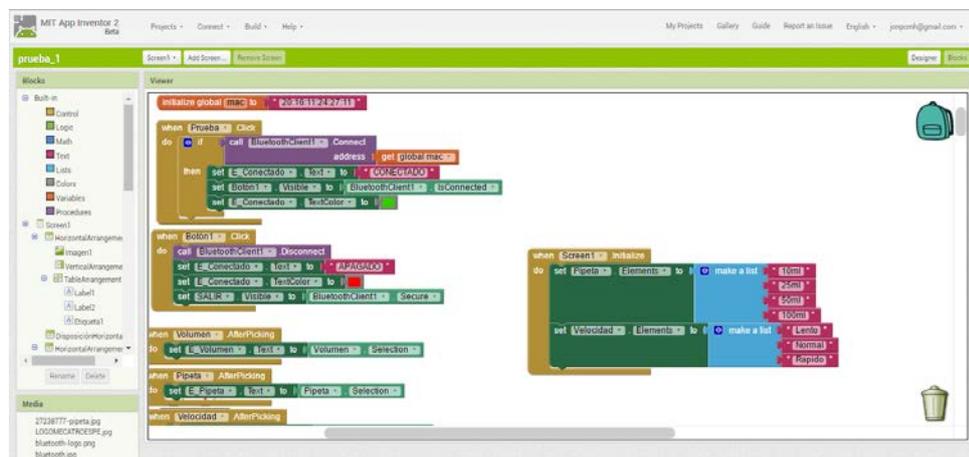


Figura 99 Diseño de la programación para la interfaz

Los requisitos mínimos para la instalación y operación de la aplicación en un dispositivo móvil son los siguientes:

- Memoria RAM: 1 GB
- Versión Android: 2.1
- Espacio de almacenamiento: 6MB
- Bluetooth: 2.0
- Rango bluetooth: 10 metros

Asimismo, se requiere entre 5 Mb a 6 Mb de memoria RAM en el dispositivo para que la aplicación pueda ser abierta sin problemas.

De esta manera se utilizará la aplicación del dispositivo móvil Android que enviará mediante la tecnología Bluetooth emparejada al equipo pipeteador para su operación y control del mismo. Para lo cual se necesita de los siguientes requerimientos para su control:

- Volumen: Sirve para controlar la cantidad de volumen que el usuario desea operar (1 – 100 ml).
- Velocidad: Sirve para controlar la velocidad de expulsión del líquido contenido en la pipeta (3 velocidades).
- Cargar: Sirve para enviar los datos de configuración hacia el equipo pipeteador.
- Conectar: Sirve para emparejar la aplicación con el equipo pipeteador.
- Pipeta: Tipo de pipeta que se va a utilizar (5, 10, 25, 50, 100 ml)

En base a estos requerimientos y la norma INEN 9241 se procedió a realizar la interfaz Humano Máquina para que pueda ser utilizado por cualquier usuario que requiera operar el equipo pipeteador, de esta manera la aplicación debe ser lo más amigable y de fácil uso para los usuarios. Mediante esta aplicación funcionará de manera automática el equipo pipeteador, en caso que no se requiera utilizar el equipo pipeteador funcionará de manera manual la aspiración y expulsión de líquido dependiendo de lo que el usuario requiera operar.

CAPITULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO INSTRUMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS

En este capítulo se describe y muestra la implementación del equipo instrumental pipeteador y se lo ha dividido en sus partes mecánicas, electrónicas y de control. Se podrá apreciar la distribución de componentes dentro de todo el equipo.

4.1 Implementación de los Componentes eléctricos y/o electrónicos

Es necesario realizar las pruebas de implementación de los componente electrónicos para constatar fueron seleccionados de manera correcta y va a funcionar dentro del equipo instrumental pipeteador.

4.1.1 Implementación de sensores y actuadores

4.1.1.1 Implementación del sistema de aspiración

Para implementar el sistema de aspiración se tomó en cuenta la disposición adecuada en que todo el sistema funcione de una manera eficaz y no ocupe mucho espacio dentro de la estructura de sujeción. Para esto se dispuso de la siguiente manera.

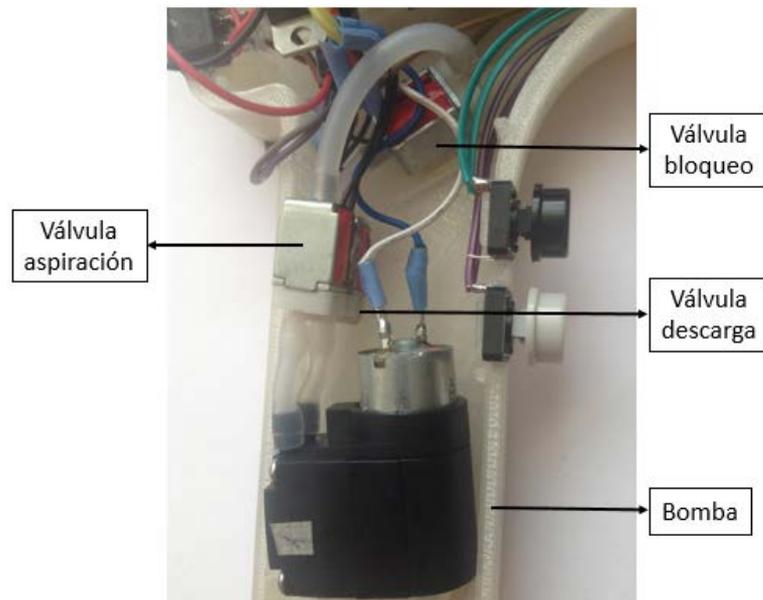


Figura 100 Sistema de aspiración

De esta manera ocupa un lugar limitado para que pueda adaptarse en el mango del equipo instrumental pipeteador y sea conectado con la tarjeta del microcontrolador del equipo.

4.1.1.2 Implementación del sensor

Para implementar el sensor dentro de la estructura de sujeción, se la debe realizar en la parte donde se una al acople de sujeción que va al final del equipo. Primeramente se debe ubicar la tarjeta que va a contener el módulo del sensor, que sea fija y los 4 pines que se maneja para el funcionamiento del sensor (VCC, GND, SDA y SCL) se puedan conectar con la tarjeta del microcontrolador.

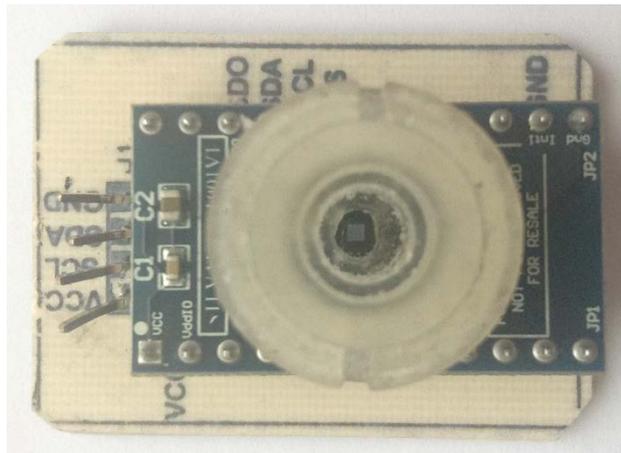


Figura 101 Placa PCB del sensor

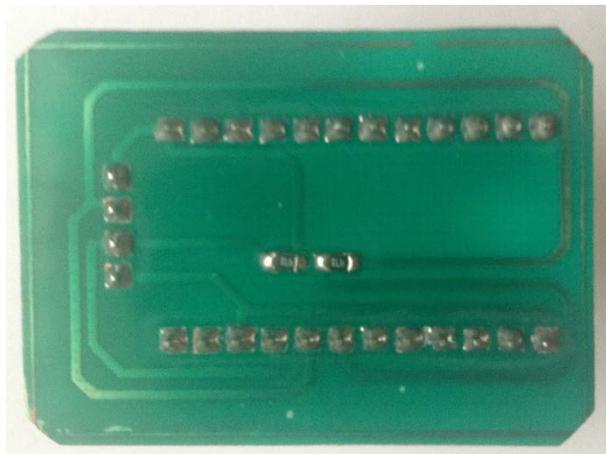


Figura 102 Reverso Placa PCB del sensor

4.1.2 Implementación de placa PCB

Para la construcción de la placa PCB se tomó en cuenta realizarla en el tamaño más pequeño posible para que pueda caber dentro de la estructura de protección y que albergue todas las conexiones de los componentes electrónicos para su funcionamiento. De esta manera la placa PCB que contiene el microcontrolador en este caso el Arduino Nano, como unidad central, quedará diseñada de la siguiente manera:

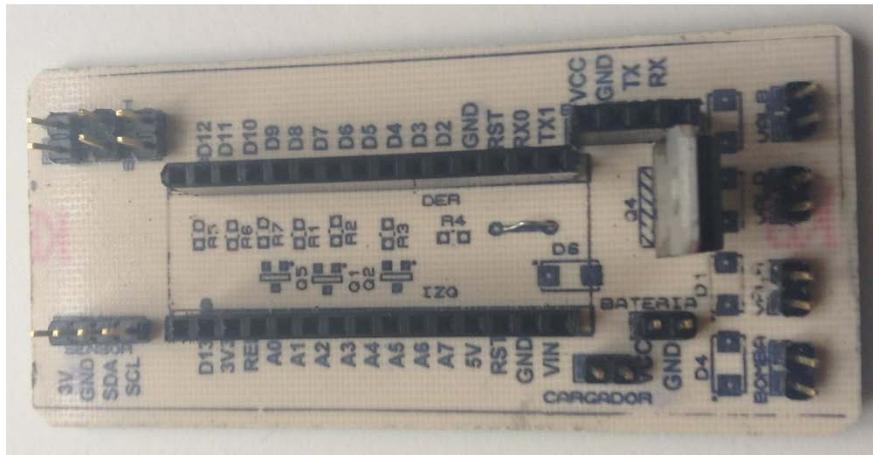


Figura 103 Placa PCB Principal

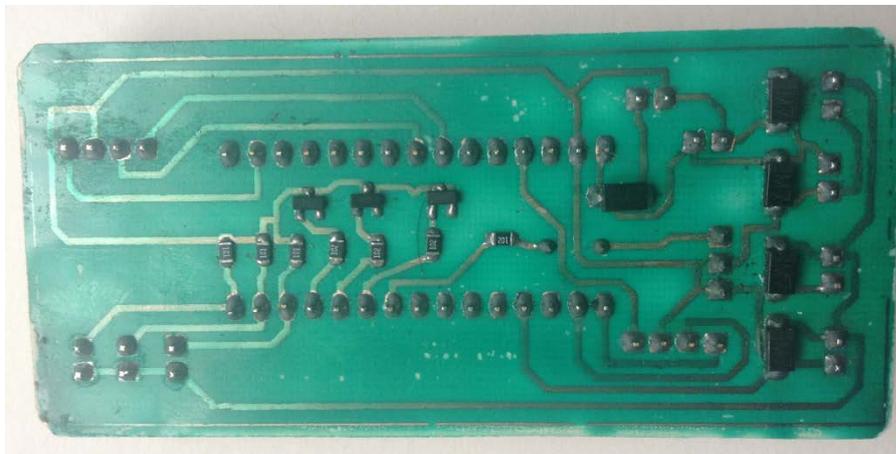


Figura 104 Reverso placa PCB Principal

Se sustituyeron las resistencias, diodos y transistores por sus equivalentes en SMD para ocupar menos espacio, debido a que la corriente con la que se trabaja es menor a 1 amperio y puede soportar esta corriente todos los componentes en SMD, y se encuentra rotulada en la parte frontal de la placa, para que se pueda conocer las conexiones con las que se deben unir la placa y los elementos electrónicos.

4.1.3 Implementación de la batería

La batería será la encargada de suministrar la energía para activar todos los componentes electrónicos que intervienen en el proceso de aspirado y expulsado del líquido dentro de la pipeta. Para eso es necesario verificar el consumo de la batería para conocer el tiempo de uso que puede tener el equipo instrumental pipeteador al momento de trabajar.

4.1.3.1 Consumo de batería cuando está activado

La capacidad de la batería es de 1.5 Ah, en la que la corriente es necesario verificar para conocer el valor que consume cuando está activada y realizando el proceso de aspirado y expulsado del líquido dentro de la pipeta. Se verifica a través de un multímetro conectado en la batería para medir su corriente.

El valor del consumo de la corriente es de 1.2 A, dando una vida útil de la batería de:

Vida útil de la batería

$$= \frac{\text{Capacidad de la batería en miliamperios por hora}}{\text{Corriente de carga en miliamperios} * 0.70} \quad (4 - 1)$$

$$\text{Vida útil de la batería} = \frac{1500}{1200 * 0.70}$$

$$\text{Vida útil de la batería} = 1,785 \text{ horas}$$

Lo que quiere decir que la batería podrá trabajar por 1 hora con 47 minutos de manera continua hasta que necesite ser recargada alrededor de dos horas para que la batería vuelva a estar completamente cargada y pueda ser utilizada nuevamente. (Digi-key Electronics, 2017)

4.1.3.2 Consumo de batería cuando está en reposo

Cuando no se utilice el equipo instrumental pipeteador y no sea apagado, también va a consumir una cantidad de corriente ya que algunos componentes van a estar encendidos en ese proceso de reposo. Se verifica a través de un multímetro conectado en la batería para medir su corriente.

El valor del consumo de la corriente es de 0,7 A, dando una vida útil de la batería de:

$$\text{Vida útil de la batería} = \frac{\text{Capacidad de la batería en miliamperios por hora}}{\text{Corriente de carga en miliamperios} * 0.70}$$

$$\text{Vida útil de la batería} = \frac{1500}{700 * 0.70}$$

Vida útil de la batería = 3,06 horas

Lo que quiere decir que la batería podrá permanecer encendida por 3 horas, de manera continua hasta que necesite ser recargada alrededor de dos horas para que la batería vuelva a estar completamente cargada y pueda ser utilizada nuevamente. (Digi-key Electronics, 2017)

4.2 Implementación de los componentes mecánicos

Es necesario realizar las pruebas de implementación para constatar que el diseño es correcto y va a funcionar en el equipo instrumental pipeteador.

4.2.1 Implementación de los mecanismos de adaptación a la pipeta

4.2.1.1 Sujeción del sensor

Para que el sensor pueda sentir la presión que exista dentro de la pipeta es necesario juntarla con el acople de sujeción que permite establecer de una manera dentro del equipo. La impresión del acople se lo realizó con ayuda de una impresora SLA, que imprime sólidos en resina fotosensible. Este tipo de impresora es utilizada para imprimir diseños que son utilizados como moldes de joyería debido a que posee mayor precisión y fabrican objetos con detalles minúsculos, por esa razón fue necesario realizarla en resina debido a que es un volumen de sólido menor a los que se imprime comúnmente en impresión 3D con material PLA, y se necesita también que sea impresa con las medidas internas correctas, para que no exista fuga de aire en ninguna parte del acople. Este acople estará ubicado en la salida de la válvula solenoide que controla la expulsión o absorción del líquido donde se juntará su manguera de silicona correspondiente, y lugar donde se sujetará el filtro de la pipeta, como se muestra en la siguiente imagen.

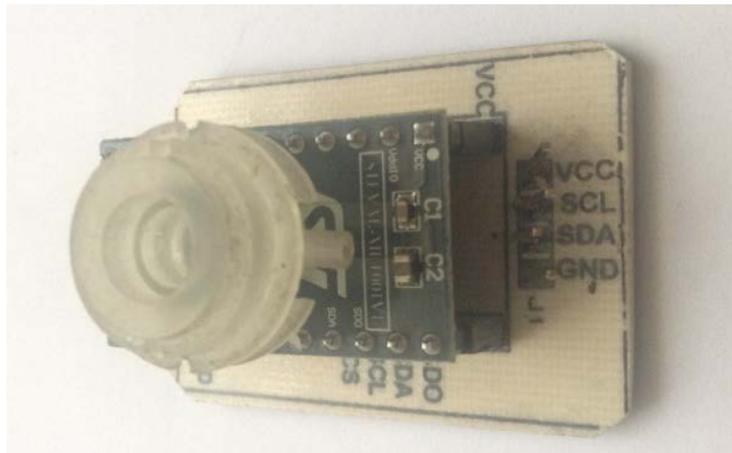


Figura 105 Unión del acople con el sensor

4.2.1.2 Tubería

La tubería permite unir todo el sistema de aspiración junto con el acople de sujeción del sensor y de esta manera el aire que expulsa o absorbe la bomba sea conducido por todo este sistema sin fugas de aire de forma hermética. Al ser flexibles ayudan a que se puedan ajustar de mejor manera al contorno de las entradas o salidas de aire de cada componente como se aprecia en la figura siguiente.

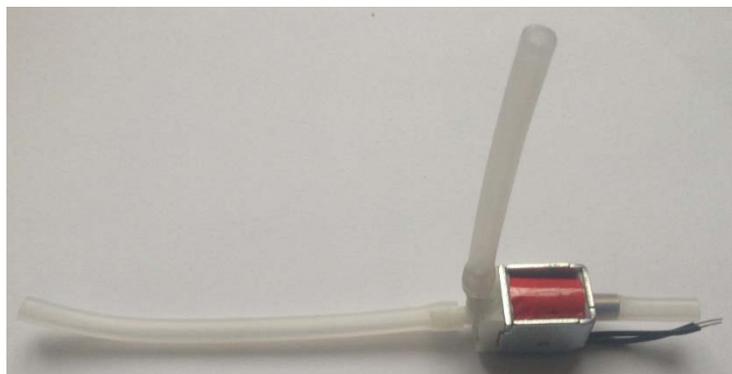


Figura 106 Tubería junto con la válvula solenoide

4.2.1.3 Filtro

El filtro al ser un elemento muy importante en el equipo ya que protege a toda la parte interna del equipo de la penetración de líquidos o impurezas que existan al momento de trabajar. El filtro estará adaptado en la salida del acople de la sujeción del sensor y unirá al soporte de silicona. De igual manera se encuentra dentro de una boquilla adaptable que en casos de deterioro del filtro se pueda intercambiar por uno nuevo.

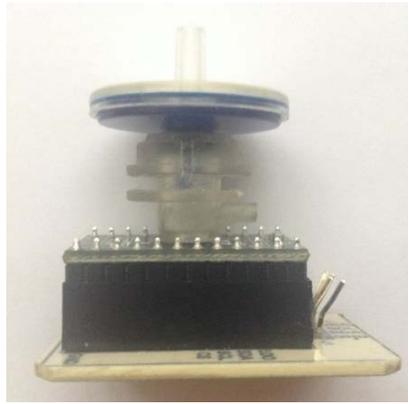


Figura 107 Unión del filtro.

4.2.1.4 Soporte de silicona

El soporte de silicona ayuda en el intercambio de pipetas según el usuario desee trabajar con el equipo instrumental pipeteador. Estará ubicado al final del equipo ajustado sobre el filtro de los cuales estarán protegidos por una boquilla adaptable a la estructura de protección que permita en casos de deterioro del mismo, solo separe esta boquilla de la estructura del equipo e intercambie el soporte de silicona. De esta manera permite que el usuario no tenga que abrir por completo la estructura de protección, y solo separe la boquilla lo hace más fácil para el intercambio como se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 108 Unión del soporte de silicona.

4.2.2 Implementación de la estructura de protección para el equipo instrumental.

Al diseñar la estructura de protección como un prototipo permite realizar los cambios adecuados hasta obtener una estructura final que se adapte con facilidad para cualquier usuario que desee operar el equipo instrumental

pipeteador. Para su construcción se tomó en cuenta la norma INEN-ISO 10012:2007, que trata sobre Sistemas de gestión de la medición - requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición, que plantea la utilización para este caso de pipetas y los equipos auxiliares de pipeteado, estableciendo los materiales del que pueden ser fabricados y los errores admisibles que pueden contener al realizar el pipeteado por algún laboratorista. (Instituto Ecuatoriano de Normalización "INEN", Sistemas de Gestión de la Medición INEN-ISO 10012:2007, 2007)

Los equipos auxiliares de pipeteado pueden ser construidos de plástico, lo cual permite que la estructura de protección, que es la que va a estar al contacto con el ambiente, puede ser construida mediante impresión 3D, que ayuda a obtener una pieza con un excelente acabado con las medidas precisas y a bajo costo en comparación de ser construida por inyección de plástico en moldes. El material en la que va a ser prototipada es PLA (Poliácido láctico), con propiedades semejantes al PET, que es utilizada en los envases plásticos comunes pero la ventaja es que es biodegradable ya que es origen vegetal obtenido a partir del almidón de maíz o caña de azúcar. Soporta temperaturas de hasta 130°C en sus ambientes más cálidos, pero como se va a trabajar dentro de un laboratorio no existe este problema con la temperatura haciendo que sea el material ideal para que sea prototipada.

El diseño realizado para la estructura de protección fue separado en 2 partes para que sea fácil de ensamblar:

La parte izquierda de la estructura que contenga todos los componentes divididos en secciones para su mejor distribución. Lo que ayuda para que el proceso de armado del equipo sea sencillo ya que se conoce la distribución de cada elemento.



Figura 109 Prototipado del lado izquierdo interior

Su parte externa tiene redondeo en todas las uniones o esquinas para que tenga una forma más ergonómica y sobre todo que el mango de la estructura sea de fácil manejo en la palma de la mano del usuario que desee trabajar.



Figura 110 Prototipado del lado izquierdo exterior

La parte derecha en cambio, asegurará los elementos que están contenidos por el lado izquierdo de la estructura, haciendo que ningún elemento este suelto dentro de la estructura y pueda ser manejado sin ningún problema el equipo instrumental pipeteador.



Figura 111 Prototipado del lado derecho interior

En su parte externa estarán albergados los tornillos que aseguran a la estructura para que no sea abierta fácilmente lo que podría causar algún daño en el interior del equipo.



Figura 112 Prototipado del lado derecho exterior

En la parte superior tiene un compartimento donde se alberga la batería del equipo, para que pueda ser removida con facilidad en caso de que necesite ser reemplazada por una batería nueva, sin necesidad de abrir por completo toda la estructura de protección sino solo ese compartimento. Está cubierta por una tapa que debe ser removida para llegar a la batería.



Figura 113 Compartimiento de la batería

Y por último el embudo que alberga el adaptador de silicona junto con el filtro, que en casos de que necesite cambiar el filtro por deterioro solo se necesite desacoplar de la estructura de protección y sea cambiado con facilidad.



Figura 114 Embudo

4.3 Implementación y pruebas del sistema del Control

Como se diseñó el sistema de control, se realizará la implementación y pruebas del mismo. El sistema de control contiene:

- Sensado de la presión interna de la pipeta
- Control de la bomba

- Control de las válvulas solenoides
- Ecuación de control

4.3.1 Sensado de la presión interna de la pipeta

Para la implementación y pruebas del sensado a través del sensor, se dividirá en 2 etapas este proceso:

- Recepción de datos a través del puerto serial del computador
- Pruebas de variación de la presión interna en la pipeta

4.3.1.1 Recepción de datos a través del puerto serial del computador

Para la recepción de los datos a través del Arduino Nano por medio de la comunicación I2C desde el sensor, es necesario activar los registros del sensor para que permita el sensado de presión, para esto nos ayudamos de la librería Wire de Arduino, que permite la comunicación directa hacia el sensor, para lo cual inicializamos las direcciones de memoria que serán utilizadas para el sensado de presión.

```
byte dir=40;
byte PRESS_OUT_XL=0x28; //presoutxl
byte CTRL_REG2=0x11; //reg2
byte PRESS_OUT_L=0x29; //presoutl
byte PRESS_OUT_H=0x2A; //presouth
byte STATUS=0x27; //status
byte CTRL_REG1 =0x10; //ctrlreg
```

Figura 115 Inicialización de direcciones de memoria

La función `ctrl_reg1` y `ctrl_reg2` son utilizadas para habilitar la comunicación I2C y la adquisición de datos de la presión.

La función `status` es utilizada para tener una sobrecarga de datos de presión, esto permite que los nuevos datos de presión han sobrescrito el anterior haciendo una adquisición continua de datos.

Los registros `PressOut_H`, `PressOut_L` y `PressOut_XL`, son los que darán el valor de la presión obtenida por el sensor.

Una vez inicializado estos valores se procede en el void setup() a escribir sobre las direcciones de memoria para habilitar la comunicación del sensor, ya que cada registro tiene su diferente función.

```
void setup() {
  Wire.begin();          // empieza la comunicación I2C
  Serial.begin(9600);    // empieza la comunicación Serial
  //Inicializar CTRL_REG2
  Wire.beginTransmission(92); // comienza la transmisión hacia el registro
  Wire.write(CTRL_REG2);      // escribe sobre el registro
  Wire.write(0x0);            // escribe en el registro 0x0
  Wire.endTransmission();    // termina la transmisión al registro
  //Inicializar STATUS
  Wire.beginTransmission(92); // comienza la transmisión hacia el registro
  Wire.write(STATUS);         // escribe sobre el registro
  Wire.write(0x11);           // escribe en el registro 0x11
  Wire.endTransmission();    // termina la transmisión al registro
  //Inicializar CTRL_REG1
  Wire.beginTransmission(92); // comienza la transmisión hacia el registro
  Wire.write(CTRL_REG1);      // escribe sobre el registro
  Wire.write(0x20);           // escribe en el registro 0x20
  Wire.endTransmission();    // termina la transmisión al registro
}
```

Figura 116 Programación del void setup()

Dentro del programa principal lo que se necesita es adquirir los datos de los registros PressOut_H, PressOut_L y PressOut_XL, para lo cual se lee en cada registro el dato que va adquiriendo de la forma siguiente:

```
//adquisición de datos
Wire.beginTransmission(92); // comienza la transmisión hacia el registro
Wire.write(PRESS_OUT_XL);   // escribe sobre el registro
Wire.endTransmission();    // stop transmitting
Wire.requestFrom(92, 8);    // requerimiento para los 8 bits
if (Wire.available()) {    // condición si es válida la lectura
  xlPressure = Wire.read(); // lee el dato en el registro
}
```

Figura 117 Programación para la adquisición del dato PressOut_XL

De la misma manera se debe programar para los 2 registros faltantes adquiriendo el dato en cada registro. Una vez adquirido los 3 datos se procede a ordenarlos para obtener un arreglo de 24 bits, pero este arreglo es en formato hexadecimal es necesario convertirlo en decimal para poder utilizar la ecuación de presión del sensor, que se obtiene dividiendo el valor decimal para el factor de escala 4096 y de esta manera se obtendrá el valor real de presión entregado en hPa.

```
currentPressure = (hPressure*65536+lPressure*256+x1Pressure)/4096;
Serial.println(currentPressure);
```

Figura 118 Programación para la obtener el valor de presión

Se imprime en el puerto serial para visualizar la presión obtenida a través del sensor, que en este caso debe ser la presión absoluta en el lugar donde se realizó las pruebas de medición, que en este caso fue realizada en la ciudad de Quito, donde tiene una presión atmosférica de 726 hPa. Esta presión es nuestra presión referencial que será utilizada para el control de la presión interna de la pipeta. De esta manera se visualiza el dato de la presión a través del puerto serial.

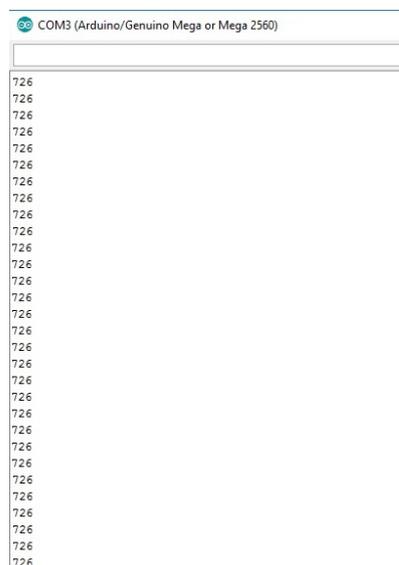


Figura 119 Visualización de datos de presión a través del puerto serial

4.3.1.2 Pruebas de variación de la presión interna en la pipeta

Para las pruebas de la variación interna en la pipeta, es necesario absorber y expulsar el líquido para visualizar la variación de datos por estas acciones. Para lo cual se debe juntar el sensor al acople para que de esta manera, el sensor puede adquirir los datos directamente de la salida del acople que conecta al pipeta. Con la programación, antes mencionada, se realiza la adquisición de datos y se visualiza mediante el puerto serial para verificar que exista un cambio de presión en el sensor.

```

COM3 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
726
726
726
726
726
726
726
726
726
726
726
723
709
708
707
707
707
706
704
704
698
693
700
706
711
711
721
726
726
726
726

```

Figura 120 Visualización de datos presión variada a través del puerto serial

Se comprueba que existe variación dentro de la presión de la pipeta, esto ocurre debido a que al entrar líquido en la pipeta, el aire ejerce una presión interna que va disminuyendo conforme aumente la entrada del líquido. Como se visualiza en la imagen, cuando se aspira el líquido la presión interna disminuye y del valor referencial que se tenía (726 hPa), irá disminuyendo conforme siga entrando el líquido, pero cuando se expulsa líquido de la pipeta el valor irá de nuevo aumentando hasta tener completamente vacía la pipeta y nos debe dar el valor de 726 hPa, que es nuestro valor inicial.

4.3.2 Control de la bomba

Para la implementación y pruebas de la bomba controlada a través del microcontrolador, se dividirá en 2 etapas este proceso:

- Velocidad de aspiración del líquido
- Velocidad de expulsión del líquido

4.3.2.1 Velocidad de aspiración del líquido

Para el control de la velocidad de la bomba al momento de aspirar líquido, se debe realizar varias pruebas aspirando líquido a través de la pipeta hasta conseguir la velocidad ideal en la que el sensor pueda adquirir de manera correcta los datos, para que pueda realizar el control automático de aspiración del líquido. Para la variación de la velocidad de la bomba se lo realiza a través de salida PWM del Arduino, donde se decrementa o se

aumenta el ciclo de trabajo sobre la señal de control haciendo que el motor de la bomba se mueva lenta o rápidamente. (Arduino, Señales analógicas de salida en Arduino (PWM), 2016)

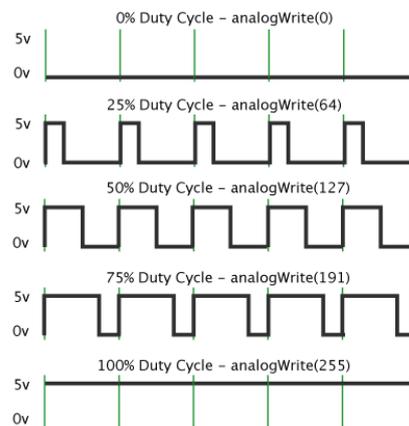


Figura 121 Modulación del ancho de pulso

Fuente: (Arduino, Señales analógicas de salida en Arduino (PWM), 2016)

Mediante el comando `analogWrite()`, se elige trabajar con el ancho de pulso más bajo (80) con el que la bomba pueda activarse, haciendo que la aspiración del líquido sea lo más lenta posible para adquirir con mejor precisión los datos de la presión que va variando al interior de la pipeta por el sensor. La bomba será conecta al pin digital 6 del Arduino que posee la opción de PWM, y la línea de código quedaría de la siguiente manera:

```
analogWrite(bomba,90);
```

De esta manera la bomba trabajar con un ciclo de trabajo del 35,29% en el PWM, debido a que necesita mayor esfuerzo para conseguir succionar el líquido.

4.3.2.2 Velocidad de expulsión del líquido

Para el control de la velocidad de la bomba al momento de expulsar líquido, se debe realizar varias pruebas cuando ya se haya aspirado el líquido a través de la pipeta para expulsar el mismo, hasta conseguir la velocidad ideal en la que el sensor pueda adquirir de manera correcta los datos, para que pueda realizar el control automático de expulsión del líquido. Para la variación de la velocidad de la bomba se lo realiza a través de salida PWM del

Arduino, donde se decrementa o se aumenta el ciclo de trabajo sobre la señal de control haciendo que el motor de la bomba se mueva lenta o rápidamente.

Mediante el comando `analogWrite()`, se elige trabajar con el ancho de pulso más bajo (80) con el que la bomba pueda activarse, haciendo que la expulsión del líquido tenga la velocidad adecuada para vaciar por completo todo el líquido que se encuentre dentro de la pipeta, además de adquirir con mejor precisión los datos de la presión que va variando al interior de la pipeta por el sensor. La bomba será conecta al pin digital 6 del Arduino que posee la opción de PWM, y la línea de código quedaría de la siguiente manera:

```
analogWrite(bomba,80);
```

De esta manera la bomba trabajar con un ciclo de trabajo del 31,37% en el PWM, este ciclo de trabajo es menor que el anterior debido a que no necesita mayor esfuerzo vaciar el líquido de la pipeta.

4.3.3 Control de las válvulas solenoides

Para la implementación y pruebas de las válvulas solenoides controlada a través del microcontrolador, se dividirá en 3 etapas este proceso:

- Control para aspiración del líquido
- Control para bloqueo del líquido
- Control para expulsión de líquido

4.3.3.1 Control para aspiración del líquido

Se trabaja con 3 válvulas solenoides junto con la bomba para conseguir el control de la aspiración del líquido, realizando pruebas similares con las que se realizó en el software de simulación de circuito neumáticos de este proceso, para comprobar que el funcionamiento sea el correcto.

El funcionamiento de las válvulas para la aspiración, la bobina de válvula absorción (vala) no será activada para que permita el paso para absorber el aire, mientras que la bobina de la válvula descarga (vald) será activada para que bloquee el paso de expulsión del aire y el aire sea expulsado al exterior. Por último, la bobina de válvula bloqueo (valb) no será

activada para que permita el paso del aire que absorbe el líquido de la pipeta. Para activar esta función se lo realiza a través de pulsador.

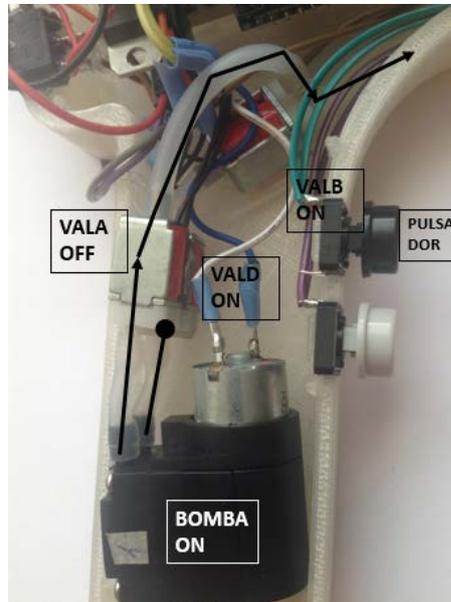


Figura 122 Disposición de elementos

Para la programación de esta función, se conecta cada válvula en un pin digital para cambiar de estado (apagado o encendido), junto con la velocidad de la bomba para lograr absorber el líquido a través de la pipeta.

```
analogWrite(bomba, 90);
digitalWrite(vala, LOW);
digitalWrite(vald, HIGH);
digitalWrite(valb, HIGH);
```

Figura 123 Programación para la aspiración

4.3.3.2 Control para bloqueo del líquido

Se trabaja con 3 válvulas solenoides junto con la bomba para conseguir el control del bloqueo del líquido dentro de la pipeta, realizando pruebas similares con las que se realizó en el software de simulación de circuito neumáticos de este proceso, para comprobar que el funcionamiento sea el correcto.

Para el bloqueo de aire, no se activa la bomba de aire, ya que no es necesario que absorba o expulse aire, la bobina de válvula absorción (vala) será activada para que no permita el paso del aire hacia la bomba, en casos que se quede aire en esa conexión, mientras que la bobina de la válvula

descarga (vald) no será activada para que bloquee el paso del aire que regresa hacia la bomba. Por último, la bobina de válvula bloqueo (valb) será activada para que no regrese el aire hacia la bomba, haciendo que se forme un vacío dentro de la pipeta para que pueda mantener el líquido en su medida. Esta función será activada automáticamente desde el microcontrolador, ya para que en cualquier momento el líquido necesite ser retenido.

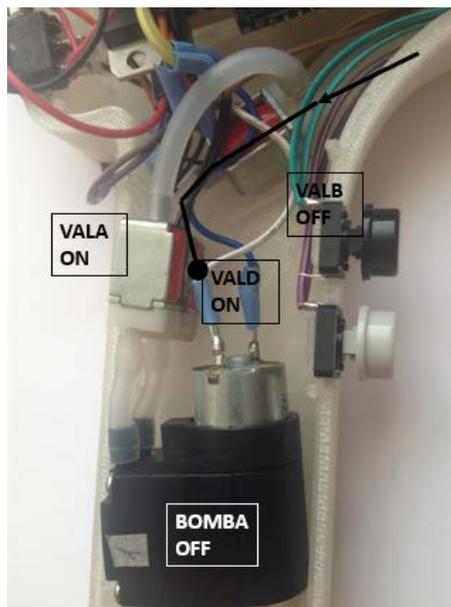


Figura 124 Disposición de elementos

Para la programación de esta función, se conecta cada válvula en un pin digital para cambiar de estado (apagado o encendido), junto con la velocidad de la bomba que en este caso es cero, para lograr retener el líquido en la pipeta.

```
analogWrite(bomba, 0);
digitalWrite(vala, HIGH);
digitalWrite(vald, HIGH);
digitalWrite(valb, LOW);
```

Figura 125 Programación para el bloqueo

4.3.3.3 Control para expulsión de líquido

Se trabaja con 3 válvulas solenoides junto con la bomba para conseguir el control de la expulsión del líquido, realizando pruebas similares con las que se realizó en el software de simulación de circuito neumáticos de este proceso, para comprobar que el funcionamiento sea el correcto.

Para la expulsión de aire, se activa la bomba de aire, la bobina de válvula absorción (vala) será activada para que bloquee el paso de absorción del aire y tome aire del exterior, mientras que la bobina de válvula descarga (vald) no será activada para que permita el paso para expulsar el aire. Por último, la bobina válvula bloqueo (valb) no será activada para que permita el paso del aire que expulsa el líquido de la pipeta. Para activar esta función se lo realiza a través de un pulsador.

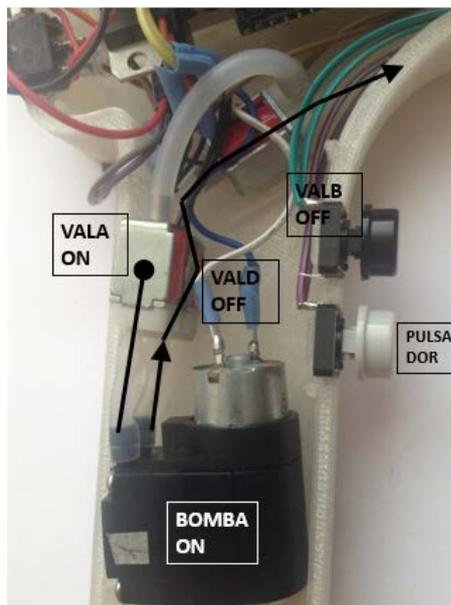


Figura 126 Disposición de elementos

Para la programación de esta función, se conecta cada válvula en un pin digital para cambiar de estado (apagado o encendido), junto con la velocidad de la bomba para lograr absorber el líquido a través de la pipeta.

```
analogWrite(bomba, 90);
digitalWrite(vala, HIGH);
digitalWrite(vald, LOW);
digitalWrite(valb, LOW);
```

Figura 127 Programación para la expulsión

4.3.4 Ecuación de control

Para implementar la ecuación de control en el microcontrolador y controle de forma automática la aspiración de líquido de la pipeta con una cantidad de volumen, medida de pipeta y velocidad de descarga, es necesario conocer los valores de presión dentro de la pipeta, cuando el líquido marca en

una medida de la pipeta para de esta manera controlar el sistema de aspiración y luego cuando se desee descargar el líquido, se controle el sistema de expulsión.

Para esto, nos basamos en la ecuación lineal calculada en el capítulo anterior (3-8):

$$\frac{p_2 - p_a}{h_n - h_0} * h_1 + p_a = p_{dif} \quad (4 - 2)$$

Siendo:

- p_2 = presión de la medida máxima de la pipeta [hPa]
- p_a = presión atmosférica del lugar que se maneja el equipo [hPa]
- h_n = medida de la pipeta [ml]
- h_0 = medida inicial de la pipeta [ml]
- h_1 = medida del volumen de líquido a controlar [ml]
- p_{dif} = presión del aire contenido en la medida del volumen del líquido a controlar [hPa]

4.3.4.1 Modelamiento de la ecuación para una pipeta de 5 ml

Para obtener la ecuación lineal de la pipeta de 5 ml, se verifica en cada medida la presión interna correspondiente, con ayuda del puerto serial, para visualizar los valores que fueron colocados en una tabla que se presenta a continuación:

Tabla 3
Medida y presión para pipeta de 5 ml

Medida ml	Presión 1 hPa	Presión 2 hPa	Presión 3 hPa	Presión Promedio
0	759,20	759,00	759,10	759,100
1	755,91	754,31	755,38	755,200
2	751,58	752,41	752,32	752,103
3	747,97	748,60	747,31	747,960
4	745,02	745,47	744,22	744,903
5	740,98	740,76	740,74	740,827

Se toma 3 valores de presión para tener mejor exactitud mediante una presión promedio, a continuación se realiza un gráfico con los datos de medida y presión adquiridos anteriormente.

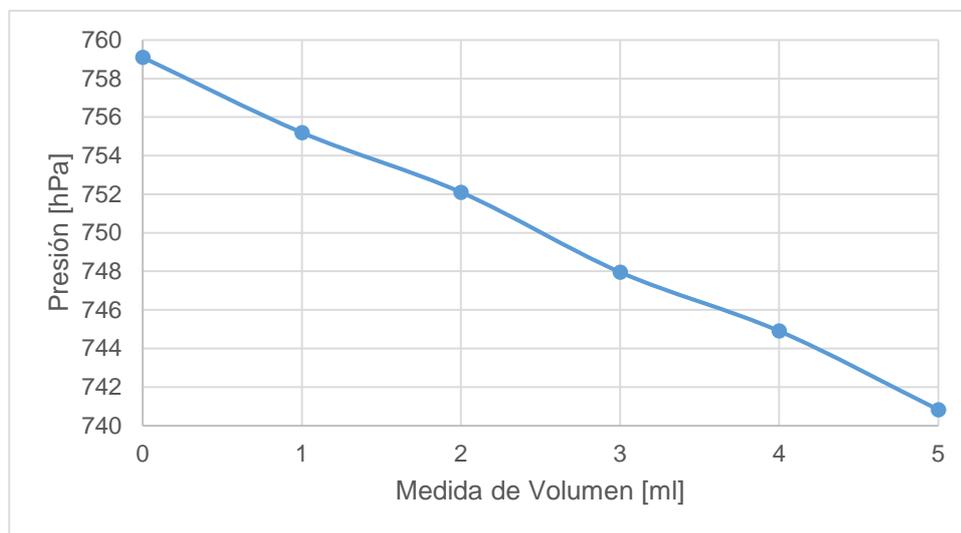


Figura 128 Gráfico lineal de medida contra presión 5 ml

Una vez realizado el gráfico, se procede a realizar una línea de tendencia que sea de forma lineal, donde nos muestra la ecuación lineal que represente en el control automático a la pipeta de 5 ml, para implementarla en el microcontrolador.

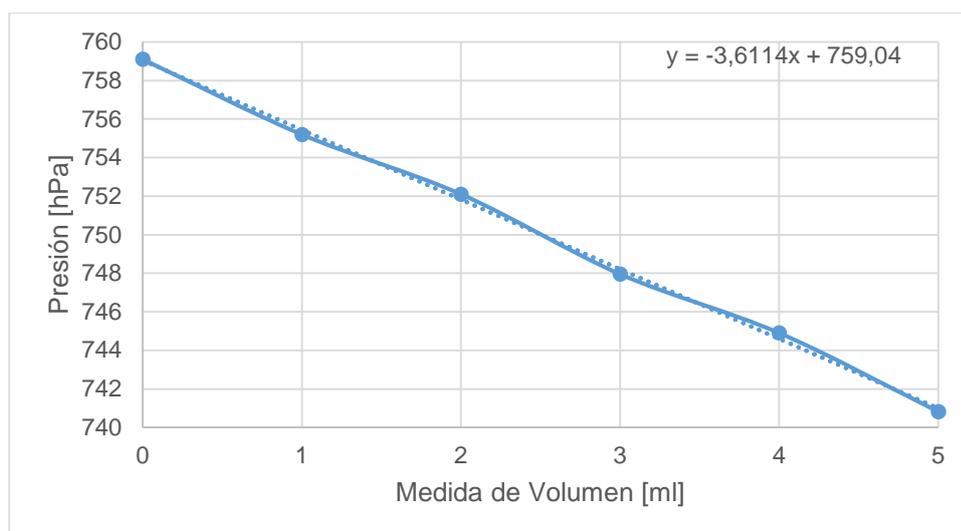


Figura 129 Linealización de datos 5 ml

La ecuación para programar es: $y = -3,6114x + 759,04$, donde "y" es el valor de cantidad de volumen del líquido a la que se va a llegar y "x" el valor

de la presión del aire cuando el líquido llega a esa medida. El valor de 759,04 corresponde el valor de la presión cuando la pipeta no contiene líquido.

4.3.4.2 Modelamiento de la ecuación para una pipeta de 10 ml

Para obtener la ecuación lineal de la pipeta de 10 ml, se verifica en cada medida la presión interna correspondiente, con ayuda del puerto serial, para visualizar los valores que fueron colocados en una tabla que se presenta a continuación:

Tabla 4
Medida y presión para pipeta de 10 ml.

Medida ml	Presión 1 hPa	Presión 2 hPa	Presión 3 hPa	Presión Promedio
0	759,20	759,00	759,10	759,100
1	756,77	757,1	756,94	756,937
2	754,65	754,84	754,97	754,820
3	752,24	752,9	752,56	752,567
4	750,8	750,75	750,28	750,610
5	748,95	749,22	749,06	749,077
6	746,8	747,07	747,27	747,047
7	744,99	744,74	745,46	745,063
8	743,13	743,07	743,53	743,243
9	740,70	740,51	741,02	740,743
10	738,08	738,60	739,16	738,613

Se toma 3 valores de presión para tener mejor exactitud mediante una presión promedio, a continuación se realiza un gráfico con los datos de medida y presión adquiridos anteriormente.

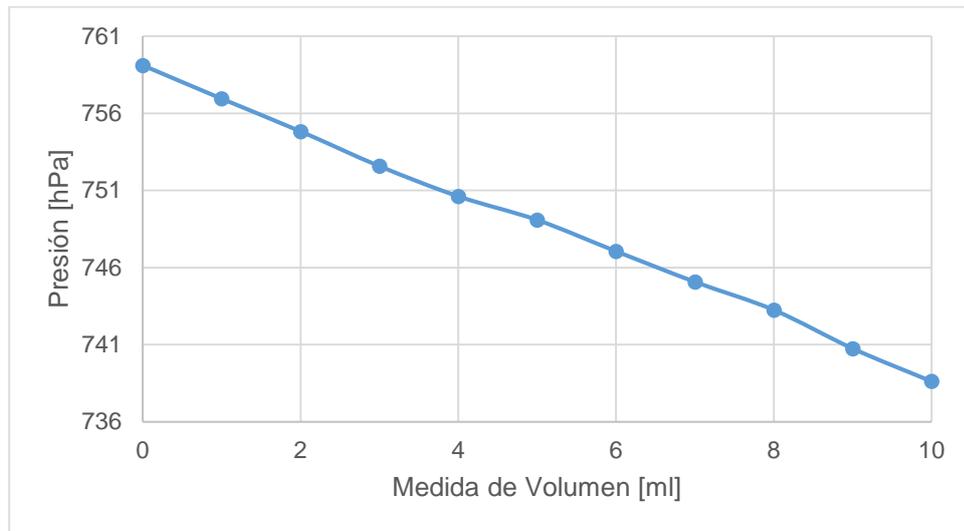


Figura 130 Gráfico lineal de medida contra presión

Una vez realizado el gráfico, se procede a realizar una línea de tendencia que sea de forma lineal, donde nos muestra la ecuación lineal que represente en el control automático a la pipeta de 10 ml, para implementarla en el microcontrolador.

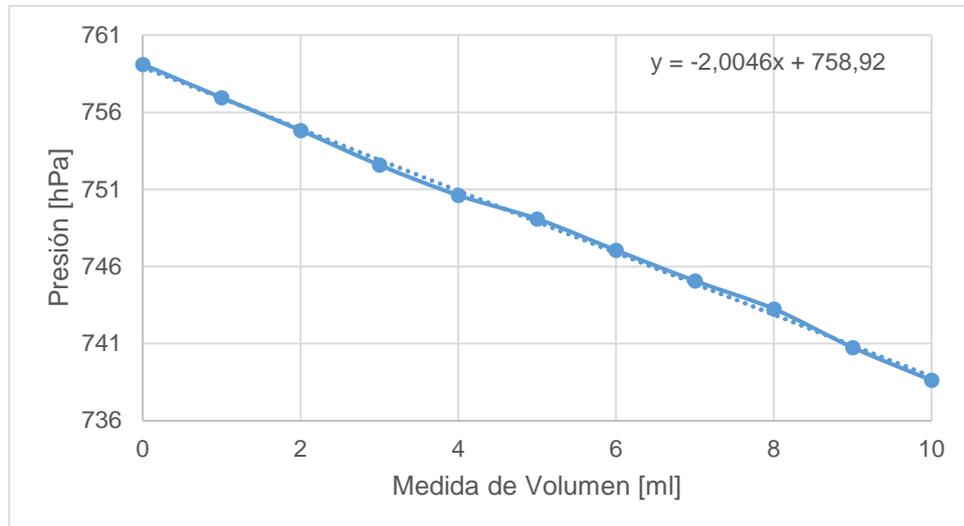


Figura 131 Linealización de datos

La ecuación para programar es: $y = -2,0046x + 758,92$, donde "y" es el valor de cantidad de volumen del líquido a la que se va a llegar y "x" el valor de la presión del aire cuando el líquido llega a esa medida. El valor de 758,92 corresponde el valor de la presión cuando la pipeta no contiene líquido.

4.3.4.3 Modelamiento de la ecuación para una pipeta de 25 ml

Para obtener la ecuación lineal de la pipeta de 25 ml, se verifica en cada medida la presión interna correspondiente, con ayuda del puerto serial, para visualizar los valores que fueron colocados en una tabla que se presenta a continuación:

Tabla 5
Medida y presión para pipeta de 25 ml.

Medida ml	Presión 1 hPa	Presión 2 hPa	Presión 3 hPa	Presión Promedio
2	755,03	755,20	755,57	755,267
3	754,15	754,29	754,64	754,360
4	753,48	754,02	753,59	753,697
5	752,61	752,91	753,20	752,907
6	752,00	752,22	752,58	752,267
7	751,74	752,09	751,15	751,660
8	750,67	751,15	750,94	750,920
9	750,56	750,6	750,67	750,610
10	750,20	749,97	750,21	750,127
11	749,20	749,15	749,35	749,233
12	747,98	748,12	748,39	748,163
13	747,51	747,81	748,01	747,777
14	747,05	747,32	747,4	747,257
15	746,60	746,72	746,80	746,707
16	746,11	745,90	746,25	745,787
17	745,61	745,36	745,08	745,050
18	745,07	744,93	744,96	744,687
19	743,95	744,03	744,15	743,743
20	743,44	743,52	743,30	743,120
21	742,33	742,04	742,55	742,007
22	741,97	741,23	741,64	741,313
23	741,19	741,07	741,20	740,853
24	740,89	740,00	740,55	740,180
25	739,63	739,50	739,12	739,117

Se toma 3 valores de presión para tener mejor exactitud mediante una presión promedio, donde no existe valor para la medida de 1 ml, debido a que las marcaciones de medidas de la pipeta empieza desde 2 ml, por tal razón se descarta tomar valores de presión para 0 y 1 ml. A continuación se realiza un gráfico con los datos de medida y presión adquiridos anteriormente.

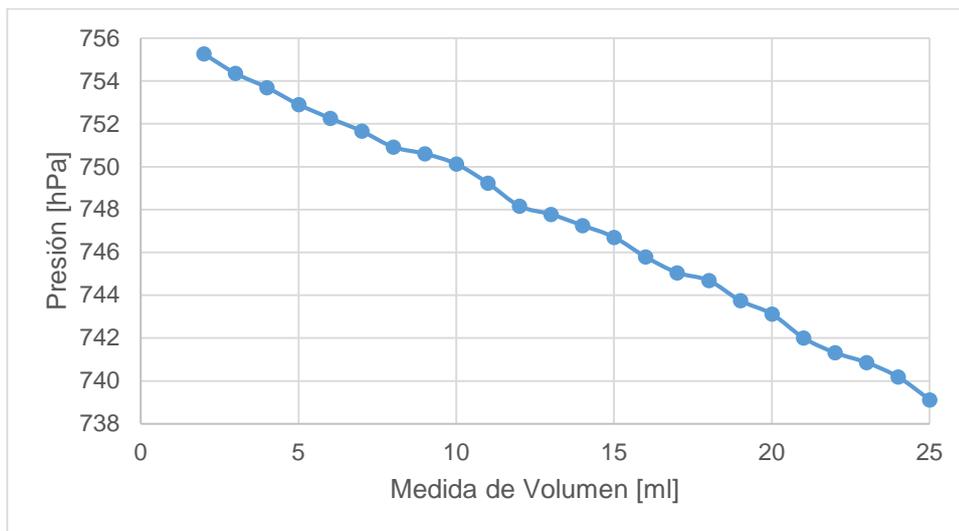


Figura 132 Gráfico lineal de medida contra presión

Una vez realizado el gráfico, se procede a realizar una línea de tendencia que sea de forma lineal, donde nos muestra la ecuación lineal que represente en el control automático a la pipeta de 25 ml, para implementarla en el microcontrolador.

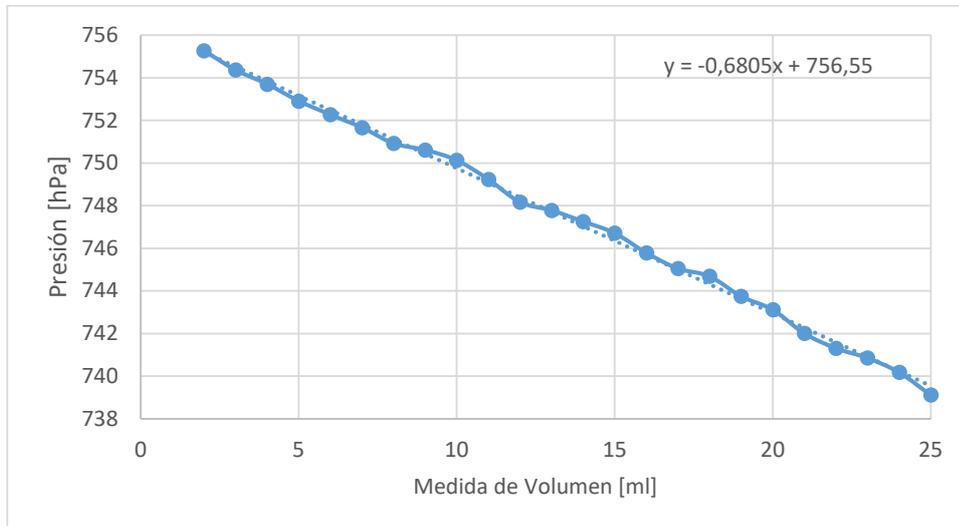


Figura 133 Linealización de datos

La ecuación para programar es: $y = -0,6805x + 756,55$, "y" es el valor de cantidad de volumen del líquido a la que se va a llegar y "x" el valor de la presión del aire cuando el líquido llega a esa medida. El valor de 756,55 corresponde el valor de la presión cuando la pipeta no contiene líquido.

4.4 Implementación del software.

En base a la norma norma INEN-ISO 9241, se diseñó una interfaz que pueda ser operada por cualquier usuario y sea sencilla de instalar en cualquier dispositivo móvil que utilice el software Android. (Instituto Ecuatoriano de Normalización "INEN", Ergonomía de Interacción Hombre-Sistema INEN-ISO 9241, 2014)

4.4.1 Implementación de la Interfaz Humano Máquina (HMI).

Para instalar la aplicación en el dispositivo móvil, el usuario debe instalar la aplicación TESIS_PIPETEADOR.apk en su móvil para poder utilizar

Una vez instalada debe buscar la aplicación con el nombre de PIPETEADOR y dar click sobre ella para acceder y poder utilizarla para su operación.

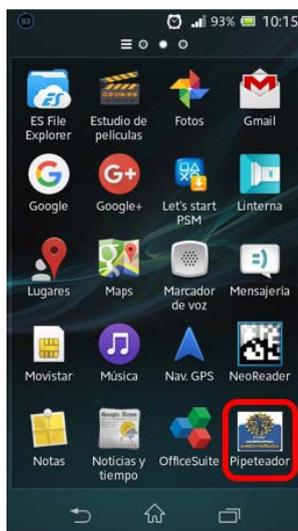


Figura 134 Localización del programa instalado

4.4.1.1 Pantalla Principal

Al abrir la aplicación se visualizará la pantalla principal donde se podrá observar los botones y funciones que tiene la interfaz para su operación como se puede ver en la siguiente imagen.

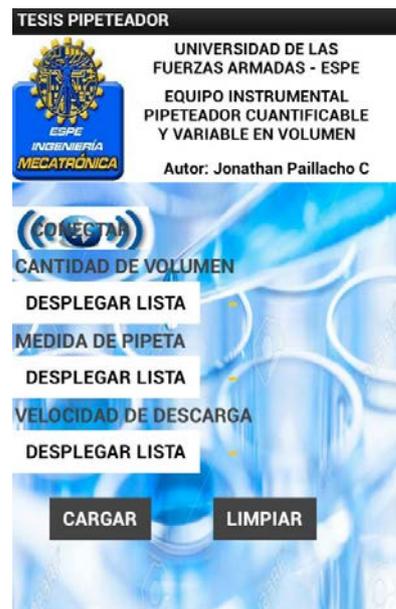


Figura 135 Pantalla principal

4.4.1.2 Botón Conectar

El Botón CONECTAR sirve para emparejar la aplicación con el equipo pipeteador. Esta acción se la realiza directamente con la dirección de bluetooth que posee el módulo HC-06. El dispositivo móvil debe prender la conexión bluetooth así como también el equipo pipeteador debe estar encendido. Al presionar el botón CONECTAR de la aplicación Android, se emparejará directamente entre los dos equipos y en la interfaz aparecerá el mensaje CONECTADO que indica que fue emparejado correctamente y se puede utilizar la aplicación para el control.



Figura 136 Conexión de la interfaz

Cuando ya no se requiera más utilizar la aplicación, se debe pulsar el botón con símbolo de apagado que se visualiza en la interfaz junto a la palabra CONECTADO. De esta manera se desvincula el dispositivo móvil con el equipo pipeteador y aparecerá el mensaje APAGADO que indica que ya no existe conexión bluetooth entre ambos equipos. Luego se puede cerrar la aplicación pulsando sobre el botón SALIR.



Figura 137 Desconexión de la interfaz

4.4.1.3 Botón Cantidad de Volumen

Esta función permite seleccionar la cantidad de volumen de líquido que el usuario requiera operar. El rango de operación será de 1 a 100 ml ya que la pipeta de mayor volumen es de 100 ml. Al presionar en el botón DESPLEGAR LISTA, se cambiará a otra ventana en la cual se puede seleccionar la cantidad de volumen a operar como se aprecia a continuación.

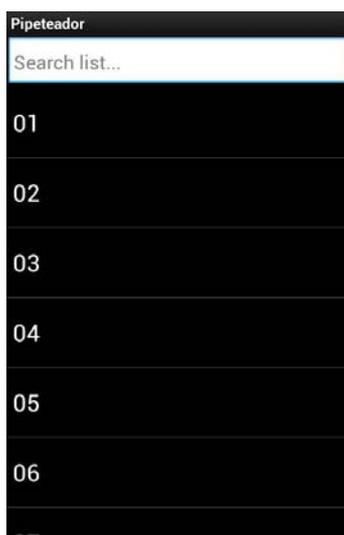


Figura 138 Lista cantidad de volumen

Una vez seleccionada la cantidad de volumen con la que se va a trabajar, se cambiará a la pantalla principal donde se visualizará la cantidad escogida en la parte derecha del botón DESPLEGAR LISTA, para que se pueda conocer que cantidad se seleccionó para realizar el trabajo requerido, como se visualiza en la siguiente imagen.



Figura 139 Visualización de la cantidad de volumen en la pantalla principal

4.4.1.4 Medida de Pipeta

Esta función permite seleccionar la pipeta con la cual se va a trabajar. Las opciones que se manejan son 4 debido a que son el volumen de pipetas con las que mayormente se trabajan en los laboratorios de biotecnología o de química, estos son: 5 ml, 10 ml, 25 ml, 50 ml y 100 ml. Al presionar en el botón DESPLEGAR LISTA, se cambiará a otra ventana en la cual se puede seleccionar una de las opciones anteriormente mencionadas, como se aprecia a continuación.

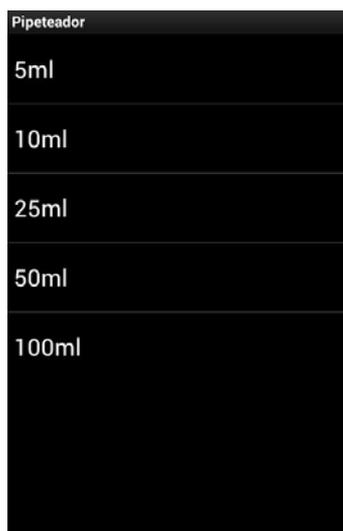


Figura 140 Lista medida de pipeta

Una vez seleccionada la medida de pipeta con la que se va a trabajar, se cambiará a la pantalla principal donde se visualizará la medida escogida

en la parte derecha del botón DESPLEGAR LISTA, para que se pueda conocer qué medida se seleccionó para realizar el trabajo requerido, como se visualiza en la siguiente imagen.



Figura 141 Visualización de medida de pipeta en la pantalla principal

4.4.1.5 Velocidad de Descarga

Esta función permite seleccionar la velocidad de descarga de líquido con la cual se va a trabajar. Las opciones que se manejan son 3 debido a que a se puede operar con diferentes tipos de líquidos en donde se requiera una velocidad lenta o rápida de expulsión del líquido de la pipeta, que se tiene las opciones de: Lento, Normal y Rápido. Al presionar en el botón DESPLEGAR LISTA, se cambiará a otra ventana en la cual se puede seleccionar una de las opciones anteriormente mencionadas, como se aprecia a continuación.

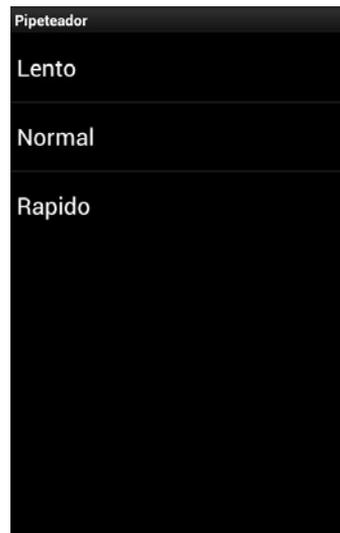


Figura 142 Lista velocidad de descarga

Una vez seleccionada la velocidad de descarga con la que se va a trabajar, se cambiará a la pantalla principal donde se visualizará la velocidad escogida en la parte derecha del botón DESPLEGAR LISTA, para que se pueda conocer que velocidad se seleccionó para realizar el trabajo requerido, como se visualiza en la siguiente imagen.



Figura 143 Visualización de la velocidad de descarga en la pantalla principal

4.4.1.6 Botón Cargar

El Botón CARGAR sirve para enviar los datos seleccionados en las anteriores funciones mencionadas, hacia el equipo pipeteador para su operación. Una vez hecho el emparejamiento bluetooth entre el dispositivo

móvil con el equipo pipeteador, se procede a seleccionar los 3 requerimientos de trabajo para que funcione la parte automática del equipo.



Figura 144 Visualización de valores seleccionados en pantalla principal

Al presionar el botón CARGAR, en la interfaz se visualizará un mensaje de Enviado, como se aprecia en la imagen siguiente, donde indica que todos los datos están correctamente seleccionados y de esta manera el equipo receptorá los datos para ser utilizados para su respectivo control.

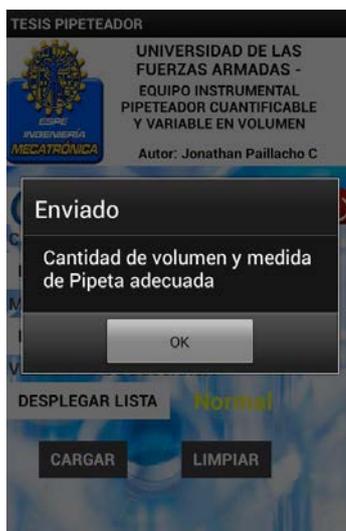


Figura 145 Mensaje Enviado

En casos de que se seleccione una cantidad de volumen mayor a la medida de pipeta, y se presione el botón CARGAR, se visualizará un mensaje de Error como se aprecia en la imagen siguiente, debido a que está incorrecta

esta información y se debe corregir la cantidad de volumen o la medida de la pipeta para que puedan los datos ser enviados hacia el equipo pipeteador.



Figura 146 Mensaje Error

4.4.1.7 Botón Limpiar

El botón LIMPIAR sirve para que los datos seleccionadas en las funciones sean borradas y se puedan escoger diferentes datos para que el usuario pueda trabajar. Al presionar el botón LIMPIAR la interfaz borrará los datos y se iniciará de nuevo para que puedan escoger nuevos datos que requieran utilizar.



Figura 147 Botón Limpiar

4.5 Funcionamiento en conjunto del sistema de control

El equipo instrumental pipeteador para su operación tendrá dos diferentes modos: modo manual y el modo automático. Para acceder o cambiar a cualquiera de estos modos, se necesita pulsar sobre el switch que se encuentra en la parte trasera del equipo.

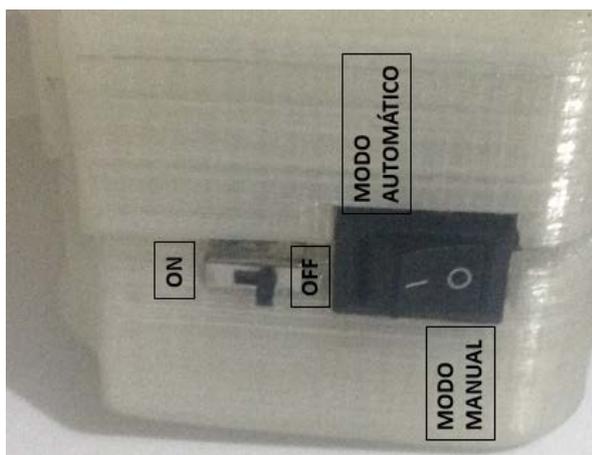


Figura 148 Disposición de los switch

4.5.1 Modo Manual

El acceso al modo manual se produce cuando el switch está apagado (manual). Para el modo manual no es necesario el uso del bluetooth o del sensor. Solo actúan el sistema de aspiración y expulsión del líquido (bomba y válvulas solenoides). Cuando se requiera aspirar el líquido a través de la pipeta, debe mantener pulsado sobre el pulsador superior de color negro, hasta la cantidad de volumen que desee el usuario manipular. Cuando suelte el pulsador, el líquido permanecerá en esa medida ya que el sistema forma un vacío dentro de la pipeta y por ese motivo el líquido queda retenido dentro de la pipeta. Cuando se requiera expulsar el líquido contenido en la pipeta, debe mantener pulsado sobre el pulsador inferior de color plomo, hasta la cantidad de volumen que desee el usuario manipular o vaciar por completo el líquido de la pipeta. De la misma forma que sucede al aspirar el líquido, en caso que suelte el pulsador de expulsado, si existe líquido en el interior de la pipeta este será retenido hasta que pulse nuevamente sobre el pulsador y se vacíe por completo la pipeta. Para el modo manual no se puede tener una

variación de velocidad de aspiración o expulsión, ya que se maneja con una velocidad estándar.

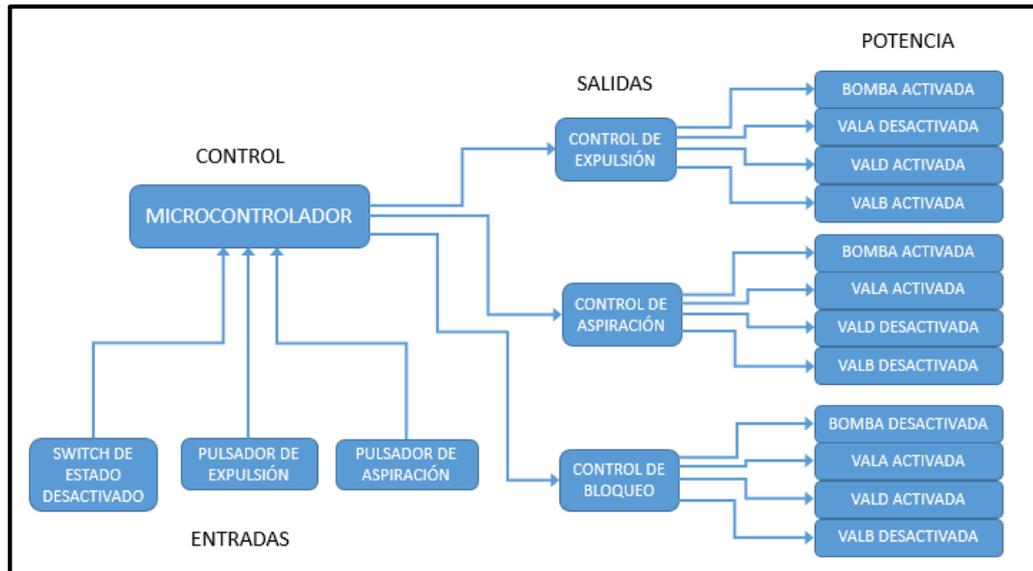


Figura 149 Esquema de funcionamiento del modo manual

La programación del modo manual es realizada mediante condiciones, que indican que mientras este en alto los pines de entrada (pulsadores), realizarán el proceso de aspiración o expulsión de líquido hacia la pipeta mediante la bomba y las válvulas solenoides que actúan para este modo.

```

//manual
else if( A == LOW){
  p1=digitalRead(pula);
  p2=digitalRead(puld);
  //aspiracion manual
  if (p1 == HIGH) {
    analogWrite(bomba, 100);
    digitalWrite(vala,LOW);
    digitalWrite(vald,HIGH);
    digitalWrite(valb,HIGH);
  }
  //descarga manual
  else if (p2 == HIGH) {
    analogWrite(bomba, 100);
    digitalWrite(vala,HIGH);
    digitalWrite(vald,LOW);
    digitalWrite(valb,LOW);
  }
  //bloqueo
  else {
    analogWrite(bomba, 0);
    digitalWrite(vala,HIGH);
    digitalWrite(vald,HIGH);
    digitalWrite(valb,LOW);
  }
}
}

```

Figura 150 Programación del modo manual

4.5.2 Modo Automático

Para el modo automático, se trabaja en conjunto con todos los componentes electrónicos, contenido dentro del equipo instrumental pipeteador para que pueda realizar este proceso.

Para realizar la aspiración de líquido a través de la pipeta con una cantidad de volumen y medida seteada, a través de la interfaz humano máquina operada en el dispositivo móvil, se debe realizar el proceso representado en la siguiente imagen:

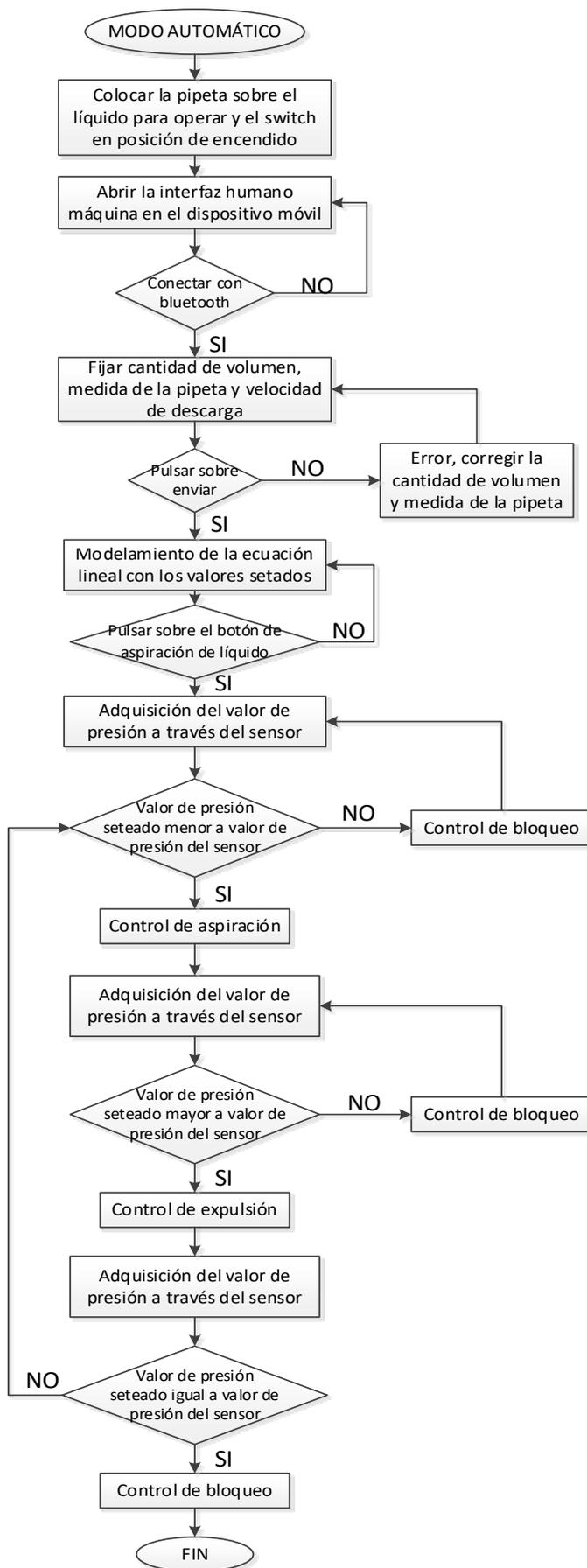


Figura 151 Diagrama de flujo para control de cantidad de volumen del líquido

Donde:

- Control de aspiración: Bomba activada, válvula absorción desactivada, válvula descarga activada y válvula bloqueo activada.
- Control de expulsión: Bomba activada, válvula absorción activada, válvula descarga desactivada y válvula bloqueo desactivada.
- Control de bloqueo: Bomba activada, válvula absorción activada, válvula descarga activada y válvula bloqueo desactivada.

De este modo se realiza el control de la cantidad de líquido en una pipeta de manera automático y se puede repetir este mismo proceso las veces que desee el usuario, hasta que cambie los parámetros de cantidad, medida o velocidad.

Para realizar la expulsión de líquido contenido dentro de la pipeta con una velocidad de descarga seteada, a través de la interfaz humano máquina operada en el dispositivo móvil, se debe realizar el proceso representado en la siguiente imagen:

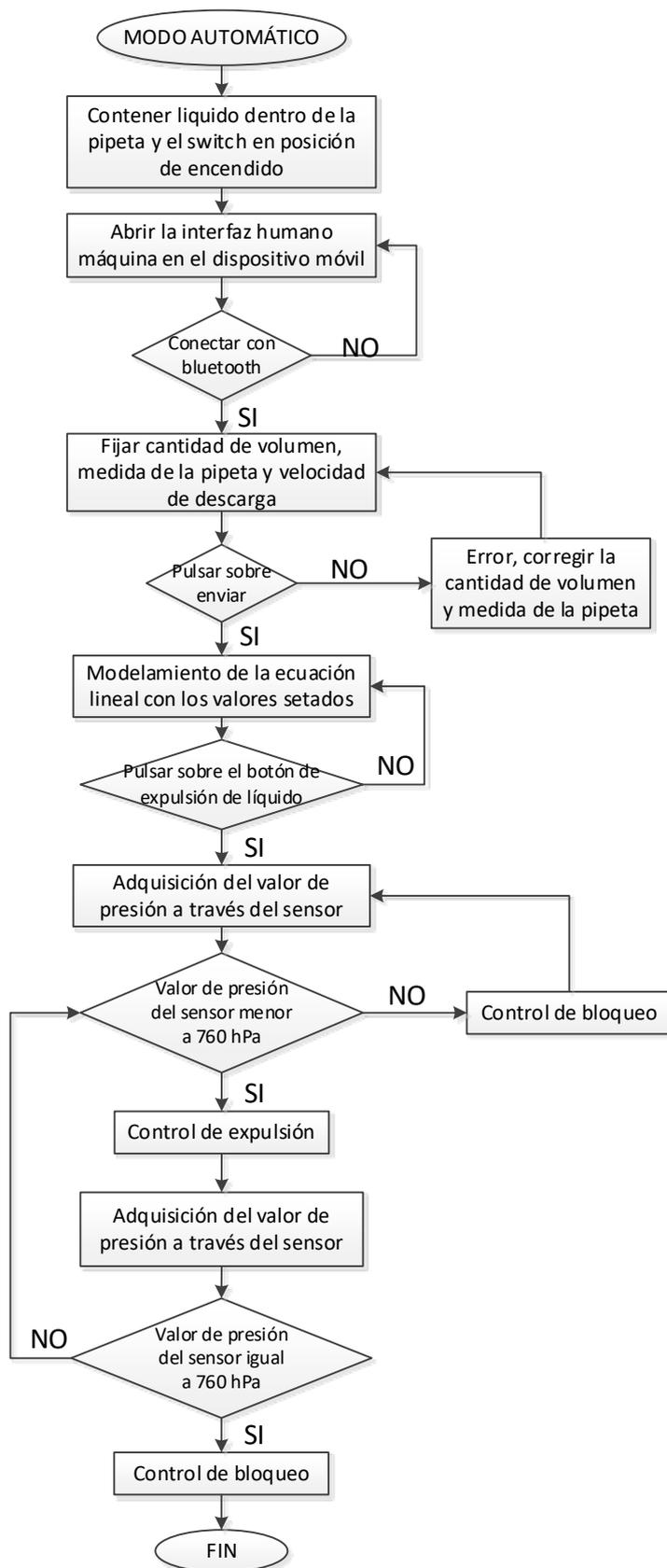


Figura 152 Diagrama de flujo del control de velocidad de descarga

Donde:

- Control de aspiración: Bomba activada, válvula absorción desactivada, válvula descarga activada y válvula bloqueo activada.
- Control de expulsión: Bomba activada, válvula absorción activada, válvula descarga desactivada y válvula bloqueo desactivada.
- Control de bloqueo: Bomba activada, válvula absorción activada, válvula descarga activada y válvula bloqueo desactivada.

De este modo se puede variar la velocidad de expulsión del líquido contenido dentro de la pipeta, dependiendo de lo que desee el usuario trabajar y este proceso se realiza de forma automática.

CAPITULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza al equipo instrumental pipeteador sus pruebas respectivas para evaluar su funcionamiento, y comprobar el diseño e implementación fueron los correctos.

5.1 Pruebas de Funcionamiento del Sistema

Para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema, se subdivide en subsistemas para asegurar de mejor manera, la funcionalidad total del equipo instrumental pipeteador.

- Sistema de aspiración y expulsión
- Placa principal PCB

5.1.1 Sistema de aspiración y expulsión

Para el sistema de aspiración y expulsión se debe probar que cada estado funcione de manera correcta y sobre todo sea hermético todas las conexiones de tubería que contiene

5.1.1.1 Estado de aspiración

Para cuando se desee aspirar, en el sistema se debe comprobar que el pulsador que activa este estado, la bomba y válvulas solenoides que intervienen en este proceso, funcionen de acuerdo al diseño realizado.

Tabla 6
Funcionalidad de estado de aspiración

Componentes	Estado	Funcionalidad	Observación
Pulsador aspiración (pula)	Activado	OK	Aprobado
Bomba	Activado	OK	Aprobado
Válvula aspiración (vala)	Desactivado	OK	Aprobado
Válvula descarga (vald)	Activado	OK	Aprobado
Válvula bloqueo (valb)	Activado	OK	Aprobado

Se puede verificar y concluir que el sistema de aspiración funciona de manera correcta y el líquido será absorbido a través de la pipeta sin ningún problema.

5.1.1.2 Estado de expulsión

Para cuando se desee expulsar, en el sistema se debe comprobar que el pulsador que activa este estado, la bomba y válvulas solenoides que intervienen en este proceso, funcionen de acuerdo al diseño realizado.

Tabla 7
Funcionalidad estado de expulsión

Componentes	Estado	Funcionalidad	Observación
Pulsador expulsión (puld)	Activado	OK	Aprobado
Bomba	Activado	OK	Aprobado
Válvula aspiración (vala)	Activado	OK	Aprobado
Válvula descarga (vald)	Desactivado	OK	Aprobado
Válvula bloqueo (valb)	Desactivado	OK	Aprobado

Se puede verificar y concluir que el sistema de expulsión funciona de manera correcta y el líquido que se encuentre dentro la pipeta será descargado hacia el contenedor que recepte el líquido.

5.1.1.3 Estado de bloqueo

Para cuando se desee retener el líquido que este contenido dentro de la pipeta, en el sistema se debe comprobar que los pulsadores, la bomba y válvulas solenoides que intervienen en este proceso, funcionen de acuerdo al diseño realizado.

Tabla 8
Funcionalidad estado de bloqueo

Componentes	Estado	Funcionalidad	Observación
Pulsador aspiración (pula)	Desactivado	OK	Aprobado
Pulsador expulsión (puld)	Desactivado	OK	Aprobado
Bomba	Desactivado	OK	Aprobado
Válvula aspiración (vala)	Activado	OK	Aprobado

Válvula descarga (vald)	Activado	OK	Aprobado
Válvula bloqueo (valb)	Desactivado	OK	Aprobado

Se puede verificar y concluir que el sistema de bloqueo funciona de manera correcta y el líquido es retenido dentro de la pipeta sin que exista desperdicio o pérdida de líquido durante este proceso.

5.1.2 Placa principal PCB

Para verificar la funcionalidad de la placa principal, donde alberga el microcontrolador Arduino Nano y donde deben estar conectadas todos los componentes electrónicos, se debe verificar mediante pruebas que todos los componentes funcionen de manera correcta para que no exista fallas en el momento de la operación del equipo.

Tabla 9
Funcionalidad de la placa principal PCB

Componentes	Funcionalidad	Observación
Pulsador aspiración (pula)	OK	Aprobado
Pulsador expulsión (puld)	OK	Aprobado
Switch de estado (pule)	OK	Aprobado
Switch de encendido del equipo	OK	Aprobado
Bomba	OK	Aprobado
Válvula aspiración (vala)	OK	Aprobado
Válvula descarga (vald)	OK	Aprobado
Válvula bloqueo (valb)	OK	Aprobado
Módulo Bluetooth	OK	Aprobado
Placa del sensor	OK	Aprobado
Batería	OK	Aprobado
Cargador	OK	Aprobado

Se verifica con las pruebas realizadas de funcionalidad, que el equipo funciona de manera correcta para su operación.

5.2 Pruebas de exactitud y reproducibilidad

Para realizar estas pruebas primero debemos tener en claro la definición de cada término:

1. **Límite de error (LE):** Está fijado en las normas correspondientes, donde indica la desviación máxima admisible del instrumento con respecto al valor nominal.

$$LE \geq | V_{real} - V_{nominal} | \quad (5 - 1)$$

2. **Exactitud (E):** Es la diferencia entre valor medio (\bar{V}) y valor nominal ($V_{nominal}$), referida al valor nominal en %.

$$E[\%] = \frac{\bar{V} - V_{nominal}}{V_{nominal}} * 100 \quad (5 - 2)$$

3. **Reproducibilidad:** Es el que indica la dispersión de los resultados de medición individuales que existen alrededor del valor medio \bar{V} en unidades de volumen.

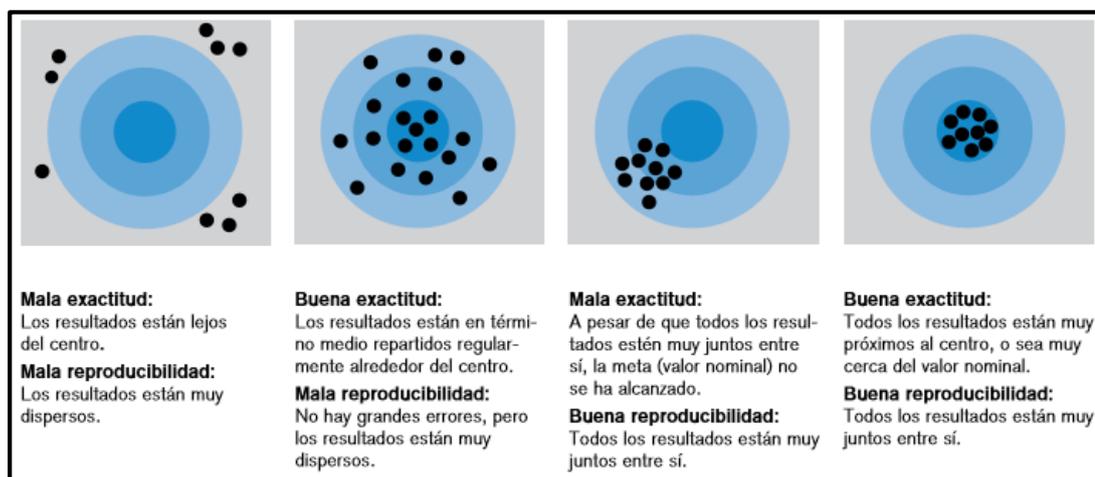


Figura 153 Representación gráfica de precisión y exactitud

En la imagen anterior se visualiza el rango de volumen alrededor del valor nominal que está en el centro, representado por cambio de diferentes colores, desde el contorno hasta el centro. Los puntos negros son los valores obtenidos de diferentes medidas de un volumen definido. Se utiliza los

términos de exactitud y reproducibilidad debido a que utiliza material volumétrico en vidrio.

Como se mencionó, existe una norma establecida que indica los errores máximos permitidos, que es la INEN 1211, donde establece que para medidas de volumen variable en un instrumento volumétrico, con una sola marca o graduación (aforo), deben cumplir con los requisitos establecidos en la siguiente tabla:

Capacidad nominal	Mínima división de escala	Error máximo permitido	
		Clase A y AS	Clase B
cm ³ (mL)	cm ³ (mL)	± cm ³ (mL)	± cm ³ (mL)
0,1	0,01	0,006	0,01
0,2	0,01	0,006	0,01
0,5	0,01	0,006	0,01
1	0,01	0,007	0,01
1	0,10	0,007	0,01
2	0,02	0,010	0,02
2	0,10	0,010	0,02
5	0,05	0,030	0,05
5	0,10	0,030	0,05
10	0,1	0,05	0,1
20	0,1	0,1	0,2
25	0,1	0,1	0,2
25	0,2	0,1	0,2

Figura 154 Error máximo permitido para medidas de volumen variable (pipetas graduadas)

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización "INEN", Sistemas de Gestión de la Medición INEN-ISO 10012:2007, 2007)

Donde:

- **Clase "A"**. Clase a la que pertenecen los instrumentos, equipos y aparatos que tienen una alta exactitud de medida.
- **Clase "As"**. Clase a la que pertenecen los instrumentos, equipos y aparatos que tienen una alta exactitud de medida, que además tiene un determinado tiempo de espera.
- **Clase "B"**. Clase a la que pertenecen los instrumentos, equipos y aparatos que tienen una menor exactitud de medida en referencia a la clase "A".

A partir de estos valores de errores que establece la norma se realizarán las pruebas de funcionamiento en cada medida de pipeta. Las pipetas que se utilizan para realizar las medidas de volumen son de clase B.

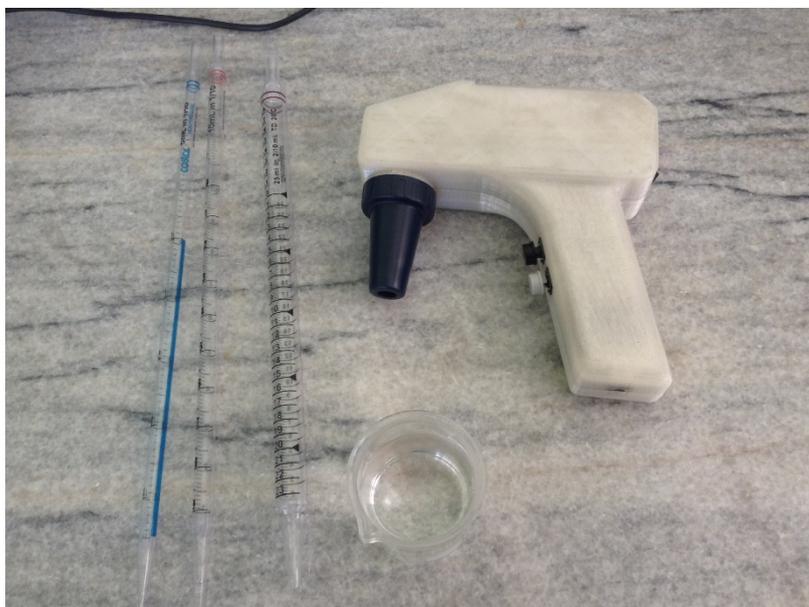


Figura 155 Equipo con sus pipetas de prueba

5.2.1 Pruebas en pipeta de 5 ml

Para realizar las pruebas en la pipeta de 5 ml, se realiza en el modo manual y modo automático para verificar la exactitud que se tiene al medir volumen en cada medida.

5.2.1.1 Modo manual en pipeta de 5 ml

Para comprobar el funcionamiento del modo manual en la pipeta de 5 ml, se realiza la medición de la cantidad de volumen, en cada medida para comprobar la exactitud con la que trabaja, realizando el mismo proceso por 3 veces y tabulado en la siguiente tabla

Tabla 10
Medición en pipeta de 5 ml en modo manual

Medida de Volumen (ml)	Primera medida (ml)	Segunda medida (ml)	Tercera Medida (ml)	Promedio (ml)
1	1,05	0,90	1,10	1,02
2	2,02	2,02	2,00	2,01
3	3,00	2,98	3,02	3,00
4	4,00	4,02	4,02	4,01
5	5,00	5,00	4,98	4,99

5.2.1.2 Modo automático en pipeta de 5 ml

Para comprobar el funcionamiento del modo automático en la pipeta de 5 ml, se realiza la medición de la cantidad de volumen, en cada medida para comprobar la exactitud con la que trabaja, realizando el mismo proceso por 3 veces. El control para el modo automático está programado para que el líquido ingrese con una medida seteada, para lo cual se debe pulsar sobre el pulsador de aspiración, pero debido a que se maneja con valores decimales en la ecuación de control, para obtener el valor de la presión interna, a la que corresponde la medida, pueda que el líquido sobrepase o esté por debajo de la medida, para cual es necesario pulsar nuevamente sobre el pulsador de aspiración y el control hará que el líquido llegue hasta la medida seteada. La tabulación de este proceso se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 11
Medición en pipeta de 5 ml en modo automático

Medida de Volumen (ml)	Primera medida (ml)	Segunda medida (ml)	Tercera Medida (ml)	Promedio (ml)
1	1,05	1,00	1,05	1,03
2	2,00	2,10	1,98	2,03
3	3,05	2,95	2,98	2,99
4	4,05	4,05	4,02	4,04
5	5,00	4,98	4,95	4,98

5.2.2 Pruebas en pipeta de 10 ml

Para realizar las pruebas en la pipeta de 10 ml, se realiza en el modo manual y modo automático para verificar la exactitud que se tiene al medir volumen en cada medida.

5.2.2.1 Modo manual en pipeta de 10 ml

Para comprobar el funcionamiento del modo manual en la pipeta de 10 ml, se realiza la medición de la cantidad de volumen, en cada medida para comprobar la exactitud con la que trabaja, realizando el mismo proceso por 3 veces y tabulado en la siguiente tabla.

Tabla 12
Medición en pipeta de 10 ml en modo manual

Medida de Volumen (ml)	Primera medida (ml)	Segunda medida (ml)	Tercera Medida (ml)	Promedio (ml)
1	1,00	1,05	1,10	1,05
2	1,95	2,10	2,05	2,03
3	3,05	3,10	3,05	3,07
4	4,05	4,05	4,05	4,05
5	5,00	5,10	5,10	5,07
6	6,05	6,05	6,00	6,03
7	7,10	7,00	7,00	7,03
8	7,95	8,10	8,10	8,05
9	9,10	9,05	9,10	9,08
10	10,00	10,10	10,00	10,03

5.2.2.2 Modo automático en pipeta de 10 ml

Para comprobar el funcionamiento del modo automático en la pipeta de 10 ml, se realiza la medición de la cantidad de volumen, en cada medida para comprobar la exactitud con la que trabaja, realizando el mismo proceso por 3 veces. El control para el modo automático está programado para que el líquido ingrese con una medida seteada, para lo cual se debe pulsar sobre el pulsador de aspiración, pero debido a que se maneja con valores decimales en la ecuación de control, para obtener el valor de la presión interna, a la que corresponde la medida, pueda que el líquido sobrepase o esté por debajo de la medida, para cual es necesario pulsar nuevamente sobre el pulsador de aspiración y el control hará que el líquido llegue hasta la medida seteada. La tabulación de este proceso se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 13
Medición en pipeta de 10 ml en modo automático

Medida de Volumen (ml)	Primera medida (ml)	Segunda medida (ml)	Tercera Medida (ml)	Promedio (ml)
1	1,05	1,10	1,10	1,08
2	2,05	2,05	2,05	2,05
3	3,00	3,10	3,05	3,05
4	4,00	4,05	4,05	4,03
5	5,10	5,05	5,05	5,07
6	5,95	6,00	5,95	5,97
7	7,00	6,95	7,00	6,98
8	8,10	8,05	8,05	8,07
9	9,05	8,95	8,95	8,98
10	10,10	10,00	10,00	10,03

5.2.3 Pruebas en pipeta de 25 ml

Para realizar las pruebas en la pipeta de 25 ml, se realiza en el modo manual y modo automático para verificar la exactitud que se tiene al medir volumen en cada medida.

5.2.3.1 Modo manual en pipeta de 25 ml

Para comprobar el funcionamiento del modo manual en la pipeta de 25 ml, se realiza la medición de la cantidad de volumen, en cada medida para comprobar la exactitud con la que trabaja, con volúmenes mayores de 10 ml, realizando el mismo proceso por 3 veces y tabulado en la siguiente tabla

Tabla 14
Medición en pipeta de 10 ml en modo manual

Medida de Volumen (ml)	Primera medida (ml)	Segunda medida (ml)	Tercera Medida (ml)	Promedio (ml)
11	11,00	11,10	11,00	11,03
12	12,10	12,00	12,10	12,07
13	13,00	12,90	13,00	12,97
14	14,10	14,00	14,00	14,03
15	15,10	15,20	15,00	15,10
16	15,90	16,00	16,00	15,97
17	17,00	17,10	17,10	17,07
18	18,00	18,00	18,00	18,00
19	19,00	19,10	19,00	19,03
20	20,10	20,10	20,00	20,07
21	21,00	21,00	21,00	21,00
22	22,10	22,00	22,00	22,03
23	23,00	23,10	23,00	23,03
24	24,10	24,00	24,10	24,07
25	24,90	25,00	25,00	24,97

5.2.3.2 Modo automático en pipeta de 25 ml

Para comprobar el funcionamiento del modo automático en la pipeta de 10 ml, se realiza la medición de la cantidad de volumen, en cada medida para comprobar la exactitud con la que trabaja, con volúmenes mayores de 10 ml, realizando el mismo proceso por 3 veces. El control para el modo automático está programado para que el líquido ingrese con una medida seteada, para lo cual se debe pulsar sobre el pulsador de aspiración, pero debido a que se maneja con valores decimales en la ecuación de control, para obtener el valor de la presión interna, a la que corresponde la medida, pueda que el líquido sobrepase o esté por debajo de la medida, para cual es necesario pulsar

nuevamente sobre el pulsador de aspiración y el control hará que el líquido llegue hasta la medida seteada. La tabulación de este proceso se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 15
Medición en pipeta de 25 ml en modo automático

Medida de Volumen (ml)	Primera medida (ml)	Segunda medida (ml)	Tercera Medida (ml)	Promedio (ml)
11	11,10	11,00	11,10	11,07
12	12,00	12,20	11,90	12,03
13	13,10	13,00	13,00	13,03
14	14,10	14,00	14,20	14,10
15	15,10	15,00	14,80	14,97
16	16,00	16,10	16,20	16,10
17	17,20	17,10	17,00	17,10
18	18,00	18,00	18,00	18,00
19	19,00	19,10	19,20	19,10
20	19,90	20,00	19,90	19,93
21	21,00	21,20	20,90	21,03
22	22,00	22,10	21,90	22,00
23	23,10	23,10	23,20	23,13
24	24,00	23,80	24,10	23,97
25	24,90	24,80	25,00	24,90

5.3 Resultados de las Pruebas exactitud y reproducibilidad

Con los datos obtenidos en el numeral anterior, se calcula el límite de error y exactitud que posee los diferentes modos en cada medida de pipeta

5.3.1 Resultados en pipeta de 5 ml

5.3.1.1 Resultados modo manual en pipeta de 5 ml

A partir de los datos obtenidos en la tabla 10, se debe calcular el límite de error y exactitud que posee cada medición como se tabula en la siguiente tabla. Para el límite de error que se maneja en la pipeta de 5 ml de clase B, un error de 0,05 ml en cada medida.

Tabla 16
Resultados en pipeta de 5 ml en modo manual

Medida de Volumen (ml)	Promedio (ml)	Límite de error (0,05 ml)	Exactitud (%)
1	1,02	0,02	1,67%
2	2,01	0,01	0,67%
3	3,00	0	0,00%
4	4,01	0,01	0,33%
5	4,99	0,01	0,13%

5.3.1.2 Resultados modo automático en pipeta de 5 ml

A partir de los datos obtenidos en la tabla 11, se debe calcular el límite de error y exactitud que posee cada medición como se tabula en la siguiente tabla. Para el límite de error que se maneja en la pipeta de 5 ml de clase B, un error de 0,05 ml en cada medida.

Tabla 17
Resultados en pipeta de 5 ml en modo automático

Medida de Volumen (ml)	Promedio (ml)	Límite de error (0,05 ml)	Exactitud (%)
1	1,03	0,03	3,33%
2	2,03	0,03	1,33%
3	2,99	0,01	0,22%
4	4,04	0,04	1,00%
5	4,98	0,02	0,47%

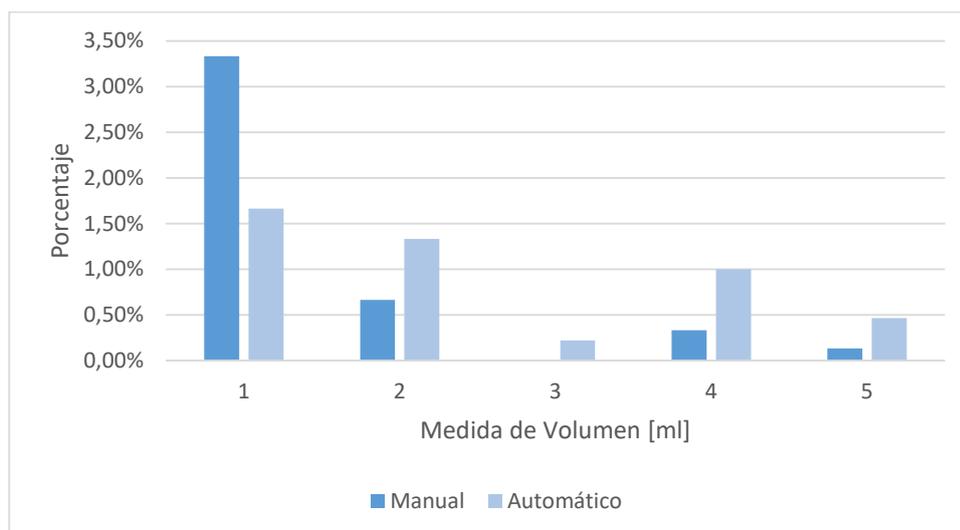


Figura 156 Comparación de porcentajes entre prueba manual y automático

5.3.2 Resultados en pipeta de 10 ml

5.3.2.1 Resultados modo manual en pipeta de 10 ml

A partir de los datos obtenidos en la tabla 12, se debe calcular el límite de error y exactitud que posee cada medición como se tabula en la siguiente tabla. Para el límite de error que se maneja en la pipeta de 10 ml de clase B, un error de 0,1 ml en cada medida.

Tabla 18
Resultados en pipeta de 10 ml en modo manual

Medida de Volumen (ml)	Promedio (ml)	Límite de error (0,1 ml)	Exactitud (%)
1	1,05	0,05	5,00%
2	2,03	0,03	1,67%
3	3,07	0,07	2,22%
4	4,05	0,05	1,25%
5	5,07	0,07	1,33%
6	6,03	0,03	0,56%
7	7,03	0,03	0,48%
8	8,05	0,05	0,62%
9	9,08	0,08	0,93%
10	10,03	0,03	0,33%

5.3.2.2 Resultados modo automático en pipeta de 10 ml

A partir de los datos obtenidos en la tabla 13, se debe calcular el límite de error y exactitud que posee cada medición como se tabula en la siguiente tabla. Para el límite de error que se maneja en la pipeta de 10 ml de clase B, un error de 0,1 ml en cada medida.

Tabla 19
Resultados en pipeta de 10 ml en modo automático

Medida de Volumen (ml)	Promedio (ml)	Límite de error (0,1 ml)	Exactitud (%)
1	1,08	0,08	8,33%
2	2,05	0,05	2,50%
3	3,05	0,05	1,67%
4	4,03	0,03	0,83%
5	5,07	0,07	1,33%
6	5,97	0,03	0,56%
7	6,98	0,02	0,24%
8	8,07	0,07	0,83%
9	8,98	0,02	0,19%
10	10,03	0,03	0,33%

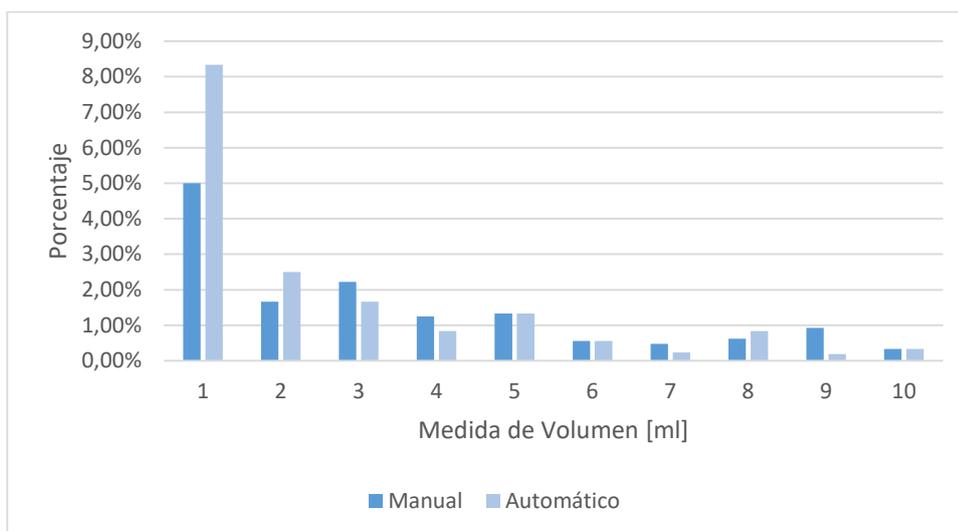


Figura 157 Comparación de porcentajes entre prueba manual y automático

5.3.3 Resultados en pipeta de 25 ml

5.3.3.1 Resultados modo manual en pipeta de 25 ml

A partir de los datos obtenidos en la tabla 14, se debe calcular el límite de error y exactitud que posee cada medición como se tabula en la siguiente tabla. Para el límite de error que se maneja en la pipeta de 25 ml de clase B, un error de 0,2 ml en cada medida.

Tabla 20
Resultados en pipeta de 25 ml en modo manual

Medida de Volumen (ml)	Promedio (ml)	Límite de error (0,2 ml)	Exactitud (%)
11	11,03	0,03	0,30%
12	12,07	0,07	0,56%
13	12,97	0,03	0,26%
14	14,03	0,03	0,24%
15	15,10	0,1	0,67%
16	15,97	0,03	0,21%
17	17,07	0,07	0,39%
18	18,00	0	0,00%
19	19,03	0,03	0,18%
20	20,07	0,07	0,33%
21	21,00	0	0,00%
22	22,03	0,03	0,15%
23	23,03	0,03	0,14%
24	24,07	0,07	0,28%
25	24,97	0,03	0,13%

5.3.3.2 Resultados modo automático en pipeta de 25 ml

A partir de los datos obtenidos en la tabla 15, se debe calcular el límite de error y exactitud que posee cada medición como se tabula en la siguiente tabla. Para el límite de error que se maneja en la pipeta de 25 ml de clase B, un error de 0,2 ml en cada medida.

Tabla 21
Resultados en pipeta de 25 ml en modo automático

Medida de Volumen (ml)	Promedio (ml)	Límite de error (0,2 ml)	Exactitud (%)
11	11,07	0,07	0,61%
12	12,03	0,03	0,28%
13	13,03	0,03	0,26%
14	14,10	0,10	0,71%
15	14,97	0,03	0,22%
16	16,10	0,10	0,62%
17	17,10	0,10	0,59%
18	18,00	0	0,00%
19	19,10	0,10	0,53%
20	19,93	0,07	0,33%
21	21,03	0,03	0,16%
22	22,00	0	0,00%
23	23,13	0,13	0,58%
24	23,97	0,03	0,14%
25	24,90	0,10	0,40%

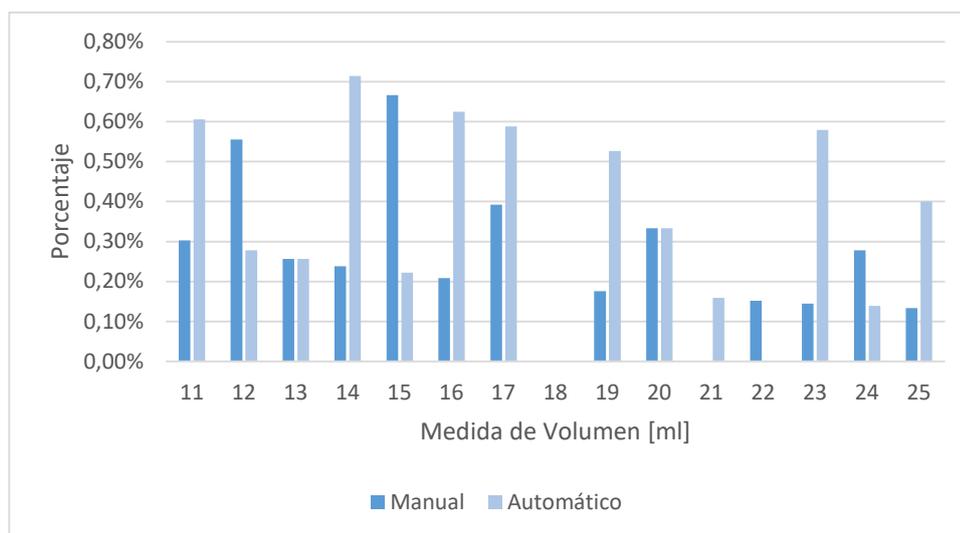


Figura 158 Comparación de porcentajes entre prueba manual y automático

5.4 Validación de las Pruebas de exactitud y reproducibilidad

Con los resultados obtenidos por la medición de volumen en cada pipeta, se debe validar los resultados para verificar el desempeño del equipo y aprobar su funcionalidad en cada modo de trabajo con el que puede operar.

5.4.1 Validación en pipeta de 5 ml

Comparando los resultados obtenidos en la pipeta de 5 ml, en sus dos modos de operación, se obtiene las siguientes observaciones

Tabla 22
Validación del modo manual en pipeta de 5 ml

Medida de Volumen (ml)	Límite de error (<0,05 ml)	Exactitud (%)
1	0,02	1,67%
2	0,01	0,67%
3	0	0,00%
4	0,01	0,33%
5	0,01	0,13%

Tabla 23
Validación del modo automático en pipeta de 5 ml

Medida de Volumen (ml)	Límite de error (<0,05 ml)	Exactitud (%)
1	0,03	3,33%
2	0,03	1,33%
3	0,01	0,22%
4	0,04	1,00%
5	0,02	0,47%

Se puede concluir que los dos modos de operación para la pipeta de 5 ml, tienen buena exactitud y reproducibilidad, y además cumplen teniendo un valor menor que el límite de error permitido por la norma (0,05 ml). Pero cuando se requiera una medida de volumen de 1 ml, es recomendable realizarlo en modo manual, ya que tiene mejor exactitud que el modo automático para esta medida, sin embargo la medida de 1 ml cumple con el límite de error máximo en modo automático.

5.4.2 Validación en pipeta de 10 ml

Comparando los resultados obtenidos en la pipeta de 10 ml, en sus dos modos de operación, se obtiene las siguientes observaciones.

Tabla 24
Validación del modo manual en pipeta de 10 ml

Medida de Volumen (ml)	Límite de error (<0,1 ml)	Exactitud (%)
1	0,05	5,00%
2	0,03	1,67%
3	0,07	2,22%
4	0,05	1,25%
5	0,07	1,33%
6	0,03	0,56%
7	0,03	0,48%
8	0,05	0,62%
9	0,08	0,93%
10	0,03	0,33%

Tabla 25
Validación del modo automático en pipeta de 10 ml

Medida de Volumen (ml)	Límite de error (<0,1 ml)	Exactitud (%)
1	0,08	8,33%
2	0,05	2,50%
3	0,05	1,67%
4	0,03	0,83%
5	0,07	1,33%
6	0,03	0,56%
7	0,02	0,24%
8	0,07	0,83%
9	0,02	0,19%
10	0,03	0,33%

Se puede concluir que los dos modos de operación para la pipeta de 10 ml, tienen buena exactitud y reproducibilidad (exceptuando la medida de 1 ml), y además cumplen teniendo un valor menor que el límite de error permitido por la norma (0,1 ml). Pero cuando se requiera una medida de volumen de 1 ml, es recomendable realizarlo en modo manual, ya que tiene mejor exactitud (5%) que el modo automático (8,33%) para esta medida, sin embargo las pruebas de la medida de 1 ml cumple con el límite de error máximo en los 2 modos de operación.

5.4.3 Validación en pipeta de 25 ml

Comparando los resultados obtenidos en la pipeta de 25 ml, en sus dos modos de operación, se obtiene las siguientes observaciones

Tabla 26
Validación del modo manual en pipeta de 25 ml

Medida de Volumen (ml)	Límite de error (<0,2 ml)	Exactitud (%)
11	0,03	0,30%
12	0,07	0,56%
13	0,03	0,26%
14	0,03	0,24%
15	0,1	0,67%
16	0,03	0,21%
17	0,07	0,39%
18	0	0,00%
19	0,03	0,18%
20	0,07	0,33%
21	0	0,00%
22	0,03	0,15%
23	0,03	0,14%
24	0,07	0,28%
25	0,03	0,13%

Tabla 27
Validación del modo automático en pipeta de 25 ml

Medida de Volumen (ml)	Límite de error (<0,2 ml)	Exactitud (%)
11	0,07	0,61%
12	0,03	0,28%
13	0,03	0,26%
14	0,10	0,71%
15	0,03	0,22%
16	0,10	0,62%
17	0,10	0,59%
18	0	0,00%
19	0,10	0,53%
20	0,07	0,33%
21	0,03	0,16%
22	0	0,00%
23	0,13	0,58%
24	0,03	0,14%
25	0,10	0,40%

Se puede concluir que los dos modos de operación para la pipeta de 25 ml, tienen buena exactitud y reproducibilidad, y además cumplen teniendo un valor menor que el límite de error permitido por la norma (0,2 ml). Al ir aumentando el volumen en la pipeta, el error de exactitud va disminuyendo, llegando a tener errores menores al 1%, como se dieron en los dos casos.

5.4.4 Validación velocidades de expulsión de líquido

Para validar la función de velocidad de expulsión del líquido, es necesario seleccionar la velocidad que se desee, a través de la interfaz humano máquina y el equipo se encuentre en modo automático. Se validará en una sola medida de volumen en una pipeta, debido a que cumplirá con respecto a las demás pipetas la expulsión total del líquido.

Tabla 28
Validación de las velocidades de expulsión de líquido

Velocidad de expulsión	Medida de Volumen (ml)	Volumen expulsado de la pipeta (ml)	Tiempo de expulsado de líquido (seg)	Velocidad de expulsión de líquido (ml/seg)
Lenta	20	20	690	0,02
Normal	20	20	12	1,6
Rápida	20	20	8	2,5

Se puede concluir que las velocidades con las que se programaron para la expulsión del volumen de líquido contenido en la pipeta, fueron las correctas. Hay que aclarar, que la velocidad lenta, se realiza gota por gota, debido a que en muchos trabajos con líquidos requieren esta opción, y muchos otros auxiliares de pipeteado no contiene esta opción por su diferente estructura de funcionamiento.

CAPITULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

En este capítulo se analizará la rentabilidad económica para la Universidad, donde se analiza el costo directo, indirecto y de fabricación, para obtener los valores que corresponden al valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y relación de beneficio costo.

6.1 Análisis financiero

Para el análisis financiero se debe considerar 3 aspectos principales que son:

- Costos Directos
- Costos Indirectos
- Costos de Fabricación

6.1.1 Costos Directos

Se refiere a costos directos, todos aquellos que se relacionen directamente con el producto y la realización de la obra de estudio, ya que sin estos costos no se podrá hacer la obra. Lo que más se refiere es a: material y mano de obra. (Macchia, 2008)

Estos costos se detallan a continuación:

- Componentes mecánicos
- Componentes eléctricos y electrónicos
- Accesorios eléctricos y electrónicos

Tabla 29
Costos de componentes mecánicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Estructura de protección	2	14	28
Tapa de alojamiento de la batería	1	5	5
Filtro	1	20	20
Soporte de silicona	1	30	30
Boquilla	1	10	10
Manguera de silicona [m]	1	3	3
Tornillos M2x10	3	0,07	0,21

CONTINUA 

Total**96,21**

Tabla 30
Costos de componentes eléctricos y electrónicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Batería LiPo 1 celda	1	5	5
Arduino Nano	1	9,50	9,50
Bomba de membrana*	1	50	50
Módulo Bluetooth	1	9,00	9,00
Válvulas solenoides 3/2 vías*	3	15	45
Tarjeta STEVAL-MET001V1*	1	30	30
Placa principal PCB	1	20	20
Placa sensor	1	7,50	7,50
Cargador de batería	1	10	10
Total			186

*El costo de estos componentes están incluidas los impuestos por importación y desaduanización ya que fueron traídos del extranjero debido a que no existen o se producen en el mercado nacional.

Tabla 31
Costos de Accesorios eléctricos y electrónicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Pulsadores 7mm	2	0,40	0,80
Switch de botón	1	0,50	0,50
Switch de corredera 3 posiciones	1	0,40	0,40
Cables conectores hembra – hembra	26	0,10	2,60
Conectores para baterías	1	1	1
Pin para cargador de batería	1	1	0,75
Total			6,05

Hay que aclarar que no existe costo para la interfaz humano máquina debido a que es una aplicación móvil, diseñada en un software libre y se instala en cualquier dispositivo móvil que tenga el sistema operativo Android. Una vez hecha la tabulación de los costos directos, se representa en la siguiente tabla.

Tabla 32
Costos de materiales directos totales

Descripción	Costos
Componentes mecánicos	96,21
Componentes eléctricos y electrónicos	186

CONTINUA 

Costos Accesorios	6,05
Total	288,26

6.1.2 Costos Indirectos

Estos son costos a los que no se vinculan directamente con el proyecto, pero que si son imprescindibles para que pueda funcionar correctamente la obra. (Macchia, 2008). Estos costos pueden ser:

- Materiales indirectos
- Mano de Obra Indirecta
- Costos Operativos o Servicios básicos

Tabla 33
Costos de Materiales Indirectos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Lija #120	1	0,50	0,50
Estaño [g]	100	5	5
Cinta aislante	26	3	3
Pega epoxica	1	6,50	6,50
Pasta para soldar	1	2,72	2,72
Total			17,72

Tabla 34
Costos de mano de obra indirecta

Descripción	Tiempo (h)	Costo por hora	Costo total
Ingeniería y diseño	240	3	720
Planos mecánicos	20	2,34	46,8
Programación y control	80	2,34	187,20
Total			954

Se debe aclarar que para tomar el valor del costo por hora, se lo realizó a partir del salario básico para el diseñador de todo el proyecto, el salario básico es de \$375 lo cual dividido para las 8 horas laborales los 5 días de la semana el costo de trabajo por hora es de \$2,34; exceptuando la parte de ingeniería y diseño ya que se necesitó gasto extra por movilización para revisión y aprobación de las fases de diseño del proyecto.

Tabla 35
Costos operativos

Descripción	Tiempo (h)	Costo por hora	Costo total
Agua potable	340	0,1	34
Luz Eléctrica	340	0,0824	28,01
Teléfono	1	1,64	1,64
Internet	340	0,055	18,70
Total			82,35

Los costos indirectos totales se indican en la siguiente tabla.

Tabla 36
Costos indirectos totales

Descripción	Costos
Materiales indirectos	17,72
Mano de obra indirecta	954
Costos operativos	82,35
Total	1.054,07

6.1.3 Costos de fabricación

Son aquellos que están vinculados directamente con la elaboración del producto o la prestación del servicio. (Miranda, 2008)

Estos costos se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 37
Costos de fabricación y ensamblaje

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Soldadura eléctrica	1	2,34	2,34
Ensamblaje mecánico	5	2,34	11,07
Ensamblaje eléctrico	8	2,34	18,72
Total			32,13

6.1.4 Costos totales

Los costos totales que se emplearon para la realización de este proyecto se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 38
Costos indirectos totales

Descripción	Costos	Porcentaje (%)
Costos directos	288,26	20,97
Costos indirectos	1.054,07	76,69
Costos de fabricación	32,13	2,34
Total	1.374,46	100

Se debe mencionar que algunos costos como la mano de obra y otros costos indirectos fueron realizados por el integrante de este proyecto.

6.2 Análisis Económico

Para el análisis económico se analizan los tres parámetros importantes de los cuales son.

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Relación beneficio costo (B/C)

6.2.1 Valor Actual Neto (VAN)

Como lo explica Galindo (2008) es un indicador económico para indicar si un proyecto o inversión es viable. El VAN para una inversión se obtiene sumando los beneficios netos, es decir, los beneficios menos los costos que se realicen en cada período, en los cuales está aplicado el cálculo. Si el valor del VAN es positivo significa que los beneficios son superiores a los costos y por lo tanto el proyecto es rentable, si es negativo deberá rechazarse.

6.2.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Está relacionado con el VAN, siendo la TIR una tasa de interés para que el VAN se haga cero. Mientras mayor sea el valor de la TIR, más rentable será el proyecto. (Galindo, 2008)

6.2.3 Relación Beneficio Costo (B/C)

El análisis Beneficio/Costo permite evaluar a un proyecto o inversión, sea rentable en términos monetarios relacionando todos los costos y beneficios. Si esta relación es mayor que uno, quiere decir que el proyecto es viable. (Galindo, 2008)

Para analizar todos los parámetros antes mencionados, se debe realizar un flujo de caja proyectado a 5 años del equipo instrumental pipeteador, para apreciar la viabilidad del proyecto. Se utilizó una tasa de interés de 0.12.

Tabla 39
Flujo de caja proyectado para 5 años

Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo	Ingresos Actualizados	Egresos Actualizados
0	0	1374,46	-1374,46	0	1374,46
1	2611,47	0	2611,47	2298,09	0
2	2611,47	0	2611,47	2022,32	0
3	2611,47	0	2611,47	1779,64	0
4	2611,47	0	2611,47	1566,08	0
5	2611,47	0	2611,47	1378,15	0
	Total			9044,28	-1374,46

Una vez realizado el flujo de caja, con los resultados obtenido, se puede calcular los valores del VAN, TIR y la relación costo/beneficios, para analizar la rentabilidad del proyecto.

Tabla 40
Análisis económico

Análisis	Valor
VAN	\$ 11.655,75
TIR	154%
B/C	2,05

Los resultados de la tabla 40, muestran un VAN con un valor positivo, el valor de la TIR alto, y la relación Beneficio/Costo es mayor que uno, con lo que se concluye que el proyecto es rentable y aconsejable para implementarlo.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se diseñó y elaboró un prototipo instrumental pipeteador, de peso ligero (340 gramos) que puede cuantificar el volumen de un líquido de manera manual o automática según la cantidad de líquido que desee el usuario, seleccionada a través de una interfaz humano máquina (HMI), controlada desde un dispositivo móvil, para pipetas de medida de 5, 10 o 25 ml. Puede trabajar por más de una hora de forma continua.
- Se diseñó y construyó una estructura de protección, en la cual se adaptaron todos los componentes mecánicos y electrónicos. Prototipada en material PLA (Poliácido láctico) y diseñada en su interior con compartimientos modulares, para que cada componente ocupe un lugar específico, con lo que se facilita su ensamblaje.
- Se dimensionó y seleccionó un sensor de presión absoluta, LPS22HB, que permita sensar la presión interna que se genera en la pipeta por la entrada o salida del volumen de líquido. El envío de datos del sensor hacia el microcontrolador es realizado a través de comunicación I2C, siendo una comunicación rápida y que solo requiere dos líneas de señal. Estos datos de presión, son utilizados como variables en una ecuación de control, que permitirán al usuario controlar el líquido de forma automática, dependiendo la medida de cada pipeta que se utilice.
- Se controló el volumen de líquido, a través de un sistema de aspiración y expulsión del líquido que ingresa a la pipeta, mediante el accionamiento de una bomba de membrana y válvulas solenoides de 3/2 vías, que permiten el ingreso, bloqueo o salida del líquido, a través de dos modos de operación, el modo manual y automático. El sistema es controlado por dos pulsadores, uno que aspira el líquido, hasta una

medida deseada por el usuario, y el otro expulsa el líquido, contenido dentro de la pipeta.

- Se diseñó e implementó una interfaz humano máquina (HMI), controlada a través de un dispositivo móvil con plataforma Android, que enviará los datos mediante tecnología Bluetooth emparejada al equipo instrumental pipeteador, para su operación y control de las funciones de cantidad de volumen, medida de pipeta y velocidad de descarga. La HMI fue diseñada para que pueda ser operada de forma sencilla y siendo amigable con el usuario para su manejo.
- Se logró que el pipeteador cumpla con la norma INEN 1211, que establece el error máximo permitido para medidas de volumen en pipetas y una exactitud menor al 10% de error, en cada medida del volumen de líquido en la pipeta.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda para una segunda versión del equipo instrumental pipeteador, se diseñe una sola ecuación de control que pueda operarse para cada medida de pipeta, realizando otro tipo de control para esta función.
- Con el fin de que tenga mayor autonomía el equipo instrumental pipeteador, se recomienda que se sustituya la aplicación HMI controlada desde un dispositivo móvil Android, por una pantalla táctil dentro del equipo, con la que se pueda seleccionar las diferentes opciones que se tiene en el modo automático.
- Para que el equipo pueda ser operado en otro lugar diferente a Sangolquí, se recomienda incluir una opción que inicialice la presión atmosférica de ese lugar, para que el equipo pueda funcionar en su modo automático, en casos de que se siga utilizando el mismo sensor.
- Se recomienda que para mejorar la exactitud de la cantidad de volumen del líquido que ingrese en la pipeta, se maneje a medida que el líquido va aumentando en su volumen, es decir, que para valores menores o

iguales a 5 ml, se utilice pipeta de 5 ml. Para líquidos de 10 ml hasta 6 ml, se utilice la pipeta de 10 ml.

- Se recomienda utilizar la pipeta de forma perpendicular al líquido que se encuentre en el recipiente, para que el líquido ingrese y se controle de mejor manera.
- Si se desea realizar el pipeteado con pipetas de 50 ml y 100 ml en modo automático, no se garantiza que tenga buena exactitud debido a que no se realizaron las pruebas con las medidas de esas pipetas debido a que en el laboratorio de biotecnología, no poseían esas pipetas. Así que se recomienda realizar solo en modo manual el pipeteado del líquido, en pipetas de 50 ml y 100 ml.

BIBLIOGRAFÍA

- Arduino. (2016). *Señales analógicas de salida en Arduino (PWM)*. Obtenido de <http://playground.arduino.cc/ArduinoNotebookTraduccion/Appendix3>
- Arduino. (2017). *Arduino Nano*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- Arias & Marulanda. (2010). *Control y medida de nivel de líquido por medio de un presión diferencial*. Pereira.
- Bortfitz, M. (2010). *Materiales de Laboratorio*. Obtenido de <http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/ab1/cml.pdf>
- Brand. (2015). *Información sobre la medición del volumen*. Alemania.
- Budynas, R. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: MCGraw-Hill.
- Bustamante, L. (2015). *Densidad*. Obtenido de https://www.emaze.com/@AFRFOOLW/S4-BQI-FISICA-II_ACT.02_CONTENTIDO:-DENSIDAD
- Cas-Instrumental. (2015). *Pipetboy Acu*. <http://www.cas-instrumental.com.ar/pipetboy-acu/>.
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Digi-key Electronics. (2017). *Calculador de vida útil de una batería*. Obtenido de <http://www.digikey.com/es/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-battery-life>
- Direct Industry. (2016). *Sensor de nivel capacitivo / para líquido / para tanque / IP67*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/balluff/product-7415-115439.html>
- Direct Industry L. (2016). *Interruptor de nivel de flotador magnético / para líquido / horizontal*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/kfg-level/product-25136-409096.html>
- Esquinas, D. (2010). *Trazado de roscas métricas ISO con Solidworks*. Obtenido de <https://docs.google.com/file/d/0BzbsNJhBSQ9MYmY3OTA4NzYtNGI4My00ZWl5LTg2NmEtYmUwZDAzNTRjZTNh/edit>

- Galindo, M. (2008). *Diccionario de economía aplicada: Política, economía, economía mundial y estructura económica*. Ecobook.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización "INEN". (2007). *Sistemas de Gestión de la Medición INEN-ISO 10012:2007*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización "INEN". (2014). *Ergonomía de Interacción Hombre-Sistema INEN-ISO 9241*. Quito.
- Integra Biosciences. (2013). *Pipetboy Pro*. Suiza.
- Jencons Scientific. (2011). *Safetypette*.
- Macchia, J. L. (2008). *Cómputos, Costos y Presupuestos*. Argentina: Nobuko.
- Magnetrol. (2014). *Sensor de nivel por ultrasonidos / para líquido / sin contacto Echotel® 300, 301*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/magnetrol/product-6020-1633244.html>
- Martin, Y. (2015). *Material de uso frecuente en el laboratorio*. Obtenido de <http://www.uv.es/gammmm/Subsitio%20Operaciones/3%20material%20de%20uso%20frecuente%20COMPLETO.htm>
- Medical Design. (2016). *Tech Spotlight: Measuring pressure in medical*. Obtenido de <http://medicaldesign.com/contract-manufacturing/tech-spotlight-measuring-pressure-medical>
- Miranda, J. (2008). *Gestión de Proyectos*. Colombia: MM Editores.
- Nikron Automacion. (2010). *Controles de nivel ultrasónicos*. Obtenido de <http://www.nikron.com.ar/automacion/nivel/liquidos/control/ultrasonicos/>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación.
- OmegaMX. (2014). *Introducción a la medición de nivel*. Obtenido de <http://mx.omega.com/prodinfo/medicion-de-nivel.html>
- Osorio, R. (2001). *Práctica 3: Densidad de líquidos*. <http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslabquimico/02practicas/practica03.htm>.
- Rechner Sensors. (2014). *Aplicaciones típicas de los sensores capacitivos (KAS)*. Obtenido de <http://www.rechner.de/es/aplicaciones.html>

STMicroelectronics. (2015). *How to interpret pressure and temperature readings in the LPS22HB pressure sensor.*

www.st.com/resource/en/technical_note/dm00242308.pdf.

STMicroelectronics. (2015). *LPS22HB.*

<http://www.st.com/resource/en/datasheet/lps22hb.pdf>.

STMicroelectronics. (2015). *Steval-met001v1.*

http://www.st.com/resource/en/data_brief/steval-met001v1.pdf.

Universidad Nacional del Sur. (2012). *Sensores.* Obtenido de

http://lcr.uns.edu.ar/electronica/Introduccion_electr/Clases/Diana/Clase%202.pdf