FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

"MODELIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA EN AFLUENTES"

Tesis previa a la obtención del Título de

Ingeniero Electromecánico

AUTOR:

Víctor Iván Abad Zumba

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

2021

CERTIFICACIÓN

Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, cuyo tema versa en **"MODELIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA EN AFLUENTES"**, previa a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, realizado por el señor egresado: **VICTOR IVAN ABAD ZUMBA,** en vista de tener cumplido el **100%** y una vez enmarcado dentro de las exigencias del reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja, autorizo su presentación, disertación y defensa ante el tribunal de tesis.

Loja, 18 de marzo del 2021

Atentamente.

Firmado electrónicamente por:
DARWIN
GIOVANNY TAPIA
PERALTA

Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

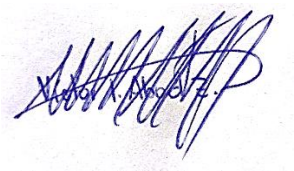
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **VICTOR IVAN ABAD ZUMBA**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula: 1150032157

Fecha: 08 de diciembre del 2021

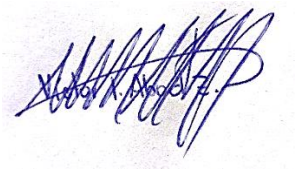
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **VICTOR IVAN ABAD ZUMBA**, declaro ser autor del trabajo de titulación que versa **"MODELIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA EN AFLUENTES"** como requisito para optar al grado de: **INGENIERO ELECTROMECÁNICO**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional**.**

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de diciembre de dos mil veintiuno.



Firma:

Autor: Víctor Iván Abad Zumba

Cédula: 1150032157

Dirección: Malacatos-Loja (Lauro Coronel Y Teodomiro Ruiz)

Correo Electrónico: viabadz@unl.edu.ec

Celular: 0987886787

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: Ing. Darwin Tapia Peralta, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Marco Rojas Moncayo, Mg. Sc.

Ing. Thuesman Montaño Peralta, Mg. Sc.

Ing. Edgar Rivas Celi, Mg. Sc.

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis padres quienes gracias a su sacrifico, han consolidado mi formación académica y personal en el día a día, con su amor y apoyo incondicional estuvieron siempre a lo largo de mi vida estudiantil. Supieron motivarme con una palabra de aliento en los momentos más difíciles. A mi pareja quien me ha incentivado a seguir adelante.

Víctor Iván Abad Zumba

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido lograr esta meta, por brindarme salud, el don de la vida, la perseverancia y sabiduría que necesité para culminar este proyecto.

A mi familia, con especial mención a mis padres quienes han sido los artífices de mi formación, desde el hogar con sus enseñanzas me han inculcado valores y han hecho de mí un hombre de bien.

A la Universidad Nacional de Loja en particular a la Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables y la planta docente de excelencia de la Carrera de Ingeniería Electromecánica que ha permitido la formación de excepcionales profesionales.

Especial Agradecimiento al Ing. Darwin Tapia director de mi tesis, por su paciencia, su asesoramiento técnico y valiosos consejos para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Al Ing. Byron Solórzano por su admirable sabiduría, paciencia y predisposición para brindar desinteresadamente su apoyo técnico.

Al Ing. Cristian León, docente de la carrera de Ingeniería Forestal, por sus valiosos consejos y asesoramiento técnico.

Gracias a mis amigos y compañeros con quienes he compartido buenos momentos a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN II

AUTORÍA III

CARTA DE AUTORIZACIÓN IV

DEDICATORIA V

AGRADECIMIENTOS VI

1. TÍTULO 1

2. RESUMEN 2

2.1 ABSTRACT 3

3. INTRODUCCIÓN 4

4. REVISIÓN DE LITERATURA 6

4.1 MUESTREO DE AGUA. DEFINICIONES 6

4.1.1 Río 6

4.1.2 Afluente 6

4.1.3 Corriente 6

4.1.4 Orden de las corrientes 6

4.1.5 Normas para el muestreo en Afluentes 7

4.1.6 Sitio de muestreo 8

4.1.7 Punto de muestreo 8

4.1.8 Definición de Calidad del agua 8

4.1.9 Muestra de agua 8

4.1.10 Definición de muestreo 8

4.1.11 Tipos de muestreo 8

4.1.12 Muestreo manual 8

4.1.13 Muestreo automático 9

4.1.14 Ventajas y desventajas de los tipos de muestreo 10

4.1.15 Toma de muestras en corrientes o canales 10

4.1.16 Muestreo isocinético 11

4.1.17 Tipos de muestras 11
4.1.18 Frecuencia de muestreo 13
4.1.19 Características del equipo de muestreo 14
4.1.20 Selección del método de muestreo 14
4.2 FUNDAMENTACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR 15
4.2.1 Primera Ley de la Termodinámica 15
4.2.2 Calor sensible 16
4.2.3 Calor latente 17
4.2.4 Mecanismos de Transferencia de calor 17
4.2.5 El concepto de resistencia térmica 19
4.2.6 Conducción de calor en cilindros 19
4.2.7 Convección natural 21
4.3 FUNDAMENTACIÓN DE MÁQUINAS DE FLUIDOS 24
4.3.1 Bombas Hidráulicas 24
4.3.2 Propiedades físicas de los fluidos 25
4.3.3 Definición de caudal 27
4.3.4 Ecuación de Bernoulli 28
4.3.5 Potencia de un flujo 28
4.3.6 Resistencia de superficie en conducciones 29
4.3.7 Resistencia de los fluidos en general 32
4.3.8 Principio de Arquímedes: Flotación 34
4.4 FUNDAMENTACIÓN DE DISEÑO MECÁNICO 35
4.4.1 Resistencia de Materiales 35
4.4.2 Esfuerzos normales o axiales (tracción y compresión) 35
4.4.3 Esfuerzo Cortante 35
4.4.4 Flexión 36
4.4.5 Factor de seguridad 37

4.4.6 Carga en columnas 39
4.5 FUNDAMENTACIÓN DE MECÁNICA 42
4.5.1 La inercia rotacional o momento de inercia. 42
4.5.2 Transmisión de potencia 44
4.6 FUNDAMENTOS ELÉCTRICOS 45
4.6.1 Potencia Eléctrica 45
4.6.2 Estimación del consumo de Energía 46
4.6.3 Dimensionamiento de la capacidad de una batería 46
4.6.4 Dimensionamiento del Transformador de corriente AC a corriente DC 47
4.6.5 Selección del cableado 48
4.7 FUNDAMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN 48
4.7.1 Automatización 48
4.7.2 Plataformas de desarrollo de bajo costo 48
5. MATERIALES Y MÉTODOS 50
5.1 MATERIALES 50
5.2 MÉTODOS 51
6. RESULTADOS 54
6.1 Métodos de Recolección de Agua en Afluentes 54
6.2 Propuesta de diseño 62
6.3 Diseño del sistema de posicionamiento de las botellas 65
6.3.1 Dimensionamiento de la estructura para el posicionamiento de las botellas 66
6.4 Diseño del cilindro base para las botellas 69
6.4.1 Cálculos de transferencia de calor 72
6.4.2 Cálculo de las pérdidas de calor a través de las tapas superior e inferior: 86
6.5 Diseño del sistema de enfriamiento 90
6.5.1 Cálculo de la transferencia de calor a través de la botella de polietileno 92
6.6 Cálculos mecánicos del diseño 94

6.6.1 Cálculo del esfuerzo en las manijas 98
6.7 Cálculos hidráulicos 102
6.7.1 Dimensionamiento de la longitud de la manguera 102
6.7.2 Cálculo de la masa para el ancla de sujeción de la boquilla de aspiración y la manguera. 103
6.8 Diseño del sistema de bombeo (recolección de las muestras) y purgado de la manguera de aspiración 112
6.8.1 Selección de la bomba. 113
6.8.2 Selección del compresor para el purgado de la manguera de aspiración del muestreador. 118
6.9 Diseño del sistema de posicionamiento de la manguera para el llenado de las botellas.. 119
6.9.1 Cálculo de la potencia del motor paso a paso. 119
6.10 Cálculos eléctricos 124
6.10.1 Dimensionamiento de la fuente de poder 124
6.10.2 Dimensionamiento de la batería. 125
6.11 Construcción de la estructura y descripción de la propuesta de control 126
6.11.1 Construcción 126
6.11.2 Descripción de la propuesta de control 127
6.11.3 Selección de la tarjeta de control 129
6.12 Descripción del funcionamiento de prototipo de muestreador semi automático para la recolección de muestras de agua. 129
6.13 Diseño del programa de control 130
6.14 Validación del prototipo 138
6.14.1 Validación respecto al volumen recolectado 143
7. DISCUSIÓN 145
8. CONCLUSIONES 148
9. RECOMENDACIONES 151

10. BIBLIOGRAFÍA.....152

11. ANEXOS.....156

ANEXO 1. Tabla propiedades del aire 156

ANEXO 2. Propiedades de metales sólidos y de materiales aislantes 157

ANEXO 3. Densidad del agua líquida entre 0 y 100 °C. 158

ANEXO 4. Tabla Propiedades de líquidos y sólidos. 159

ANEXO 5. Tabla de la densidad, viscocidad dinámica y cinemática del agua en función de la temperatura. 160

ANEXO 6. Tabla de propiedades del agua saturada. 161

ANEXO 7. Valores de rugosidad para Tuberías 162

ANEXO 8. Coeficientes k de pérdidas para accesorios de tuberías 163

ANEXO 9. ENSAYO PARA DETERMINAR LA FUERZA NECESARIA PARA DOBLAR LA MANGUERA EN EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE LA MISMA. 164

ANEXO 10. Tabla del factor de servicio para motores. 166

ANEXO 11. Esquema eléctrico y de control del prototipo de muestreador. 167

ANEXO 12. Centroides, momentos de inercia del área y áreas para secciones transversales. 168

ANEXO 14. Código del programa para la tarjeta de control (CD-R 2).....170

ANEXO 15. Planos (CD-R 2).....171

ANEXO 16. Fotografías del proceso de construcción de la estructura del prototipo y de la validación del mismo (CD-R 2). 172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cuenca Hidrológica. 7

Figura 2: Localización de los puntos de muestreo en una sección transversal de una corriente o un canal. 11

Figura 3: Red de resistencias térmicas para una capa cilíndrica (o esférica) sujeta a convección tanto en el lado interior como en el exterior. 20

Figura 4: Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto de tres capas sujeto a convección en ambos lados. 21

Figura 5: Resistencia de cuerpos bidimensionales para Re 10^4 33

Figura 6: Principio de Arquímedes 34

Figura 7: Elemento sometido a tracción (a) y sometido a compresión (b). 35

Figura 8: Elemento sometido a cortante. 36

Figura 9: Elemento sometido a flexión. 36

Figura 10: Valores para C de acuerdo a la posición de la viga. 40

Figura 11: Las masas en este mecanismo pueden ser modeladas como partículas que giran alrededor de un eje común. 42

Figura 12: Momentos de inercia de algunos cuerpos geométricos respecto a diferentes ejes de rotación. 43

Figura 13: Arduino Uno, vista superior. 49

Figura 14: Metodología para el desarrollo del proyecto. 52

Figura 15: Métodos de Recolección de agua en afluentes. 55

Figura 16: Métodos Isocinéticos de recolección de agua en afluentes. 56

Figura 17: Método de incremento de igual ancho para la recolección de muestras de agua. 60

Figura 18: Método de incremento de descarga igual para la recolección de muestras de agua. 61

Figura 19: Módulo 1 del muestreador 63

Figura 20: Módulo 2 63

Figura 21: Módulo 3 64

Figura 22: Vista isométrica del diseño 3D del muestreador. 64

Figura 23: Esquema de la estructura empleada para posicionar las botellas (vista superior)..66

Figura 24: Esquema de la estructura empleada para posicionar las botellas (vista frontal). ...66

Figura 25: Botella de polietileno de 0,5 litros de capacidad a) vista superior; b) vista frontal. 67

Figura 26: Canastilla para posicionar las botellas a) vista superior; b) vista isométrica. 68

Figura 27: Botellas de polietileno de 500 ml colocadas en la canastilla (vista isométrica).....68

Figura 28: a) Botella de polietileno de 1000 ml b) Canastilla para botella de 1000 ml (vista superior) 69

Figura 29: Botella de polietileno de 1000 ml colocada en la canastilla (vista isométrica).....69

Figura 30: Diámetro para el cilindro base donde se colocará la canastilla y las botellas. 70

Figura 31: Altura de cilindro base, con la canastilla y las botellas a) vista posterior b) vista superior. 71

Figura 32: Vista de sección del módulo 1 donde se colocarán las botellas. 71

Figura 33: a) Esquema físico del cilindro base (vista de sección lateral). b) red de resistencias térmicas para el cilindro sujeto a convección tanto en el lado interior como en el exterior. ...73

Figura 34: Circuito térmico equivalente. 73

Figura 35: Metodología para calcular el coeficiente de convección.....75

Figura 36: Esquema físico del módulo 1, vista lateral. 76

Figura 37:Resistencia térmica para la convección interna.....76

Figura 38: Resistencia térmica para calcular el espesor de aislante. 80

Figura 39: Resistencia térmica para calcular el coeficiente de convección externo. 82

Figura 40: Esquema térmico para las tapas a) superior b) inferior del cilindro donde irán colocadas las muestras de agua. 87

Figura 41: Esquema para el balance de energía. 90

Figura 42: Botella de 0,5 litros con la muestra de agua. 93

Figura 43: Esquema para el cálculo mecánico de la estructura del muestreador. 94

Figura 44: Manija superior ubicada en el módulo 3. 98

Figura 45: Representación de la manija superior 99

Figura 46: Representación del diagrama de cuerpo libre de la manija. 99

Figura 47: Diagrama de la fuerza cortante y el momento flector en la manija. 100

Figura 48: Manguera de aspiración y sus pesas. 103

Figura 49: Esquema de fuerzas a las que está sometida la boquilla y la manguera del muestreador. 104

Figura 50: Sección transversal de la boquilla. 105

Figura 51: Sección transversal de la manguera. 106

Figura 52: Esquema del agua dentro de la manguera. 108

Figura 53: Esquema para el volumen de la manguera. 109

Figura 54: Fuerzas a las que está sometida la boquilla y la manguera del muestreador. 110

Figura 55: Esquema para determinar el ángulo de la fuerza resultante. 111

Figura 56: Diagrama del sistema de aspiración y purgado. 113

Figura 57: Esquema hidráulico del muestreador. 114

Figura 58: Bomba de agua micro diafragma. 117

Figura 59: Mini compresor de aire. 119

Figura 60: Sistema de posicionamiento de la manguera. 119

Figura 61: Acople entre el eje del motor y la varilla de posicionamiento de la manguera. 120

Figura 62: Varilla de posicionamiento de la manguera. 121

Figura 63: Motor paso a paso Nema 17 124

Figura 64: Shield keypad LCD para Arduino 128

Figura 65: Módulo relé 2 canales 5V. 128

Figura 66: Elementos del menú y sub menú. 131

Figura 67: Esquema lógico del programa de control. 132

Figura 68: Procedimiento para el elemento Muestra simple 500 ml del menú. 133

Figura 69: Procedimiento para el elemento Muestra simple 1000 ml del menú. 134

Figura 70: Procedimiento para el elemento Muestra compuesta 500 ml del menú. 135

Figura 71: Procedimiento para el elemento “purgar manguera” del menú. 136

Figura 72: Prototipo del muestreador con sus componentes. 137

Figura 73: Punto de muestreo 142

Figura 74: Muestreador semiautomático conectado a la corriente del afluente. 142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de equipos automáticos disponibles para toma de muestras. 9

Tabla 2 Comparación de los tipos de muestreo de agua. 10

Tabla 3 Tipos de muestras periódicas 12

Tabla 4 Tipos de muestras compuestas. 12

Tabla 5 Frecuencias sugeridas para la recolección de muestras compuestas. 13

Tabla 6 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección. 22

Tabla 7 Características de factor de seguridad A, B y C. 38

Tabla 8 Características del factor de seguridad D y E. 38

Tabla 9 Materiales utilizados 50

Tabla 10 Métodos isocinéticos de recolección de muestras de agua en afluentes. 56

Tabla 11 Métodos No Isocinéticos de recolección de muestras agua en afluentes. 58

Tabla 12 Sistemas que componen el muestreador. 65

Tabla 13 Resumen de las iteraciones para determinar el espesor del aislante. 81

Tabla 14 Resumen de las iteraciones para determinar el coeficiente de convección externo. 85

Tabla 15 Resumen de las iteraciones para determinar la temperatura superficial externa del cilindro y el coeficiente de convección natural. 86

Tabla 16 Resultado de Mediciones utilizando Google Earth. 102

Tabla 17 Elementos eléctricos del muestreador. 125

Tabla 18 Estimación del consumo de los elementos eléctricos. 125

Tabla 19 Elementos para la estructura del programa de control. 130

Tabla 20 Costos de los elementos que constituirán el prototipo. 137

Tabla 21 Datos a tomar en el punto de muestreo. 139

Tabla 22 Inconvenientes presentados y solución aplicada al realizar la validación. 141

Tabla 23 Resultados de la validación respecto al volumen recolectado. 143

SIMBOLOGÍA

NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
NTC	Norma Técnica Colombiana
E	Energía (J)
$\dot{q}$	Flujo de calor (W)
$\dot{m}$	Flujo másico (kg/s)
C_p	Calor específico (J/kg K)
$T; T_s; T_\propto$	Temperatura; Temperatura superficial; Temperatura ambiente (°C)
ΔT	Variación, diferencia de temperatura (°C)
L_f	Calor latente de fusión (kJ/kg)
$A;\ A_s$	Área; Área superficial (m^2)
k	Conductividad térmica del material (W/m. K)
$\Delta x;\ L$	Espesor del material; Longitud (m)
h	Coeficiente de calor por convección (W/m^2 °C)
R_{cil}	Resistencia térmica de la capa cilíndrica (°C/W)
r	Radio (m)
β	Coeficiente de expansión volumétrica
Gr_L	Número de Grashof
g	Aceleración gravitacional o gravedad universal (9,81 m/s^2)
Ra_L	Número de Rayleigh
Pr	Número de Prandtl
ν	Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)
ρ	Densidad (kg/m^3)
m	Masa (kg)

V	Volumen (m^3)
γ	Peso específico (N/m^3)
W	Peso (N)
η	Viscosidad dinámica ($N.s / m^2$)
Q	Caudal (m^3/s)
t	Tiempo (s)
V	Velocidad del flujo (m/s)
P	Presión (Pa)
z	Altura de posición respecto a un plano de referencia en metros (m)
h_f	Pérdida de carga (m)
H_m	Energía transmitida por la bomba al fluido (m)
H	Altura en metros (m)
ε	Rugosidad absoluta
ε_r	Rugosidad relativa (m)
D	Diámetro (m)
Re	Número de Reynolds
h_{fp}	Pérdida de energía debido a la fricción
f	Factor de fricción
C_D	Coeficiente de arrastre
F_D	Fuerza de arrastre (arrastre) (N)
σ	Esfuerzo normal (MPa)
τ	Esfuerzo cortante (MPa)
σ_f	Esfuerzo flector (Pa)
Mf	Momento flector (Nm)

I	Momento rectangular de inercia (m^4)
n_{sx}	Factor de seguridad que involucra características A, B y C
n_{sy}	Factor de seguridad que involucra las características D y E
C	Constante que depende de las condiciones de los extremos de la columna
E	Módulo de elasticidad, psi (Pa)
K	Radio mínimo de giro (m)
S_y	Límite de fluencia, psi (Pa)
I	Momento de inercia rotacional (kg m^2)
ω	Velocidad angular (rad/s)
$\propto$	Aceleración angular (rad/s^2)
P_D	Potencia de diseño (W)
F_s	Factor de servicio
Cn	Capacidad nominal de la batería (Wh ó Ah)
P_d	Máxima Profundidad de descarga de la batería

1. TÍTULO

“MODELIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA EN AFLUENTES”

2. RESUMEN

Este proyecto de investigación comprende la modelización y construcción de un prototipo para la recolección de muestras de agua en afluentes, el cual servirá para mejorar el procedimiento de la toma de muestras, ya sea simples o compuestas.

Para diseñar y modelizar el mecanismo de recolección de las alícuotas se ha tomado como punto de partida la búsqueda de información sobre los métodos existentes para la toma de muestras en los afluentes y las normas existentes en el país (NTE INEN 2176), así como a nivel internacional para realizar este procedimiento. Se ha definido los parámetros técnicos de operación que debe poseer el sistema para la toma de muestras, luego se ha modelizado en 3D el mecanismo para realizar el muestreo, haciendo uso de un software de modelación 3D.

Para construir el prototipo se ha seleccionado materiales de acuerdo a las normas consultadas previamente y se ha utilizado tecnología local a disposición para el ensamblaje.

La validación del prototipo se ha realizado tomando muestras en un afluente, con el sistema de recolección, y se ha constatado que el volumen de recolección sea el correcto.

El resultado final es un prototipo funcional con un mecanismo sencillo para la recolección de las muestras que consta de una boquilla de aspiración, la manguera, una electroválvula y una bomba de micro diafragma; un sistema de posicionamiento de la manguera para llenar las botellas que consta de un motor paso a paso y una varilla a la que va acoplada la manguera y un sistema de purgado de la manguera de aspiración que consta de un mini compresor y una electroválvula, todos los elementos eléctricos de cada sistema son controlados por una tarjeta Arduino Uno, que coordina el llenado de la botella con el volumen de muestra necesario. Las muestras recolectadas se almacenan en un compartimento donde se las enfría para su preservación haciendo uso de hielo.

Palabras clave: muestreador semiautomático, muestras de agua, muestreo en afluentes, prototipo de muestreador, diseño experimental.

2.1 ABSTRACT

This investigation project includes the modeling and construction of a prototype for collecting water samples in tributaries, which will serve to improve the sampling procedure, either simple or composite.

To design and model the mechanism for collecting the aliquots, the starting point was the search for information on the existing methods for taking samples in tributaries and the existing standards in the country, as well as at the international level to carry out this process. The technical operating parameters that the system must have for taking samples have been defined. Then, the mechanism for sampling was modeled in 3D, using 3D modeling software.

To build the prototype, materials have been selected according to the standards previously consulted and local technology available for assembly has been used.

The validation of the prototype has been carried out by taking samples in a nearby tributary, with the collection system, and it has been verified that the collection volume is correct.

Finally, the result is a functional prototype with a simple mechanism for collecting samples that consists of a suction nozzle, the hose, an electrovalve and a micro-diaphragm pump; a hose positioning system to fill the bottles consisting of a stepper motor and a shaft to which the hose is attached and a suction hose bleed system consisting of a mini compressor and a solenoid valve, all Electrical elements of each system are controlled by an Arduino Uno board, which coordinates the filling of the bottle with the required sample volume. The collected samples are stored in a compartment where they are cooled for their preservation using ice.

Keywords: semiautomatic sampler, water samples, sampling in tributaries, sampler prototype, experimental design.

3. INTRODUCCIÓN

El propósito de un análisis de agua es el de evaluar las propiedades de una matriz (agua natural superficial o subterránea, agua residual doméstica o industrial, agua tratada, agua marina), cuyos resultados deben ser de alta calidad y confiabilidad y adecuados al propósito para el cual fueron solicitados, con base en esta información se toman importantes decisiones en materia de legislación, medidas de mitigación, control y protección del medio ambiente las cuales están regidas por normas y regulaciones de carácter oficial. Las muestras recolectadas para los análisis deben ser relevantes y verdaderamente representativas, por lo tanto, el muestreo es el aspecto más crítico de un programa de monitoreo.

Básicamente existen dos formas de realizar el muestreo de agua: tomando una muestra simple, que consiste en recolectarla en el sitio determinado una sola vez, y el muestreo compuesto, donde se toman varias muestras en distintos momentos y se colocan en el mismo recipiente o en recipientes individuales.

En el caso de realizar un muestreo compuesto, resulta un poco tedioso estar recolectando las muestras en distintos momentos, ya que se debe tomar la muestra, colocarla en un recipiente adecuado y almacenarla para el transporte, luego, esperar que pase el tiempo para nuevamente recolectar otra muestra y repetir el proceso. Tomar varias muestras, (cuatro, por ejemplo), una a cada hora, conllevaría a que la persona que realice este procedimiento permanezca en el sitio todo ese tiempo hasta completar el muestreo.

Debido a esta problemática este proyecto de tesis “MODELIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA EN AFLUENTES” se ha llevado a cabo con la intención de proponer una solución inteligente y mejorar el proceso de toma de muestras. En la Universidad Nacional Loja (UNL), no existe algún sistema automático o semiautomático para llevar a cabo este proceso, por lo que surge la necesidad de algún mecanismo o dispositivo para realizarlo de manera más fácil, precisa; que

reduzca el tiempo en que la persona realiza el muestreo, y ya no deba permanecer en el sitio por un período prolongado. Por lo antes expuesto, se ha desarrollado el objetivo general:

- Modelizar y construir un sistema semiautomático de recolección de muestras de agua en afluentes

Y los objetivos específicos planteados para esta tesis:

- Sistematizar información acerca de los diferentes métodos de recolección de muestras de agua en afluentes.
- Diseñar y modelizar en 3D el mecanismo que permita la recolección de muestras de agua en afluentes.
- Construir un prototipo de recolección de muestras de agua y diseñar el sistema de control semiautomático.
- Validar el prototipo implementado, en cuanto al volumen de muestra recolectado.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 MUESTREO DE AGUA. DEFINICIONES

4.1.1 Río

Cuerpo natural de agua que fluye continua o intermitentemente a lo largo de un curso bien definido a un océano, mar, lago, depresión interior, ciénaga u otra corriente de agua. (NTC-ISO-5667-6, 1996). Según (Ramírez, 2011) estos cuerpos de agua se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s (p.27).

4.1.2 Afluente

En hidrología, un afluente corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que no desemboca en el mar, sino en otro río que suele ser más importante, con el cual se une en un lugar llamado confluencia (Monkhouse, 1978).

4.1.3 Corriente

Agua que fluye continua o intermitentemente a lo largo de un curso bien definido, como ocurre en un río, pero generalmente en una escala más pequeña (NTC-ISO-5667-6, 1996).

4.1.4 Orden de las corrientes

El orden de corrientes se determina como se muestra en la figura 1. Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, etc. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc., pero, por ejemplo, una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman otra de orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida; así, por ejemplo, el orden de la cuenca de la Figura 1 es 4 (Mijares, 1992).

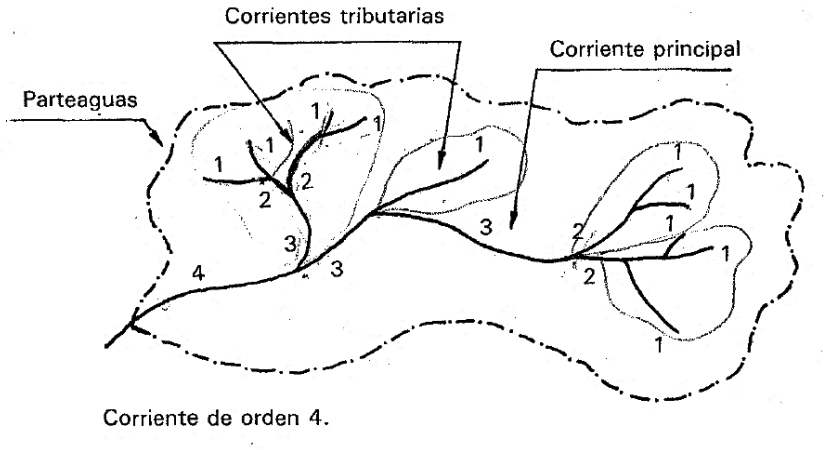


Figura 1: Cuenca Hidrológica.

Fuente: (Mijares, 1992)

4.1.5 Normas para el muestreo en Afluentes

Algunas de las normas existentes para el muestreo de agua en afluentes son:

A nivel internacional:

La norma española UNE-EN-ISO 5667-6 titulada “Calidad del agua. Muestreo. Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua” (ISO 5667-6:2014) que, entre otras cosas, describe las técnicas de muestreo y la manipulación de las muestras de agua procedentes de ríos y cursos de agua para su análisis físico y químico.

A nivel Regional:

La norma colombiana NTC-ISO 5667-6 titulada “Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de Aguas de ríos y corrientes”, esta norma es idéntica por traducción (IDT) a la ISO 5667-6. Establece los principios que se aplican al diseño de programas de muestreo, técnicas de muestreo y al manejo de muestras de agua de ríos y corrientes para evaluación física, química y microbiológica.

En el Ecuador:

No existe una norma que establezca específicamente los procedimientos para la toma de muestras de agua en ríos y corrientes. Existe la norma NTE INEN 2176:2013 titulada “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo”, la cual establece guías sobre las técnicas

de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización y se aplica a las técnicas de muestreo generales.

4.1.6 Sitio de muestreo

El área general donde se toman las muestras, dentro de un cuerpo de agua (NTC-ISO-5667-6, 1996).

4.1.7 Punto de muestreo

La posición precisa donde se toman las muestras, en el lugar de muestreo (NTC-ISO-5667-6, 1996).

4.1.8 Definición de Calidad del agua

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como:

- Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas (Ramírez, 2011).

4.1.9 Muestra de agua

Una muestra de agua es una parte representativa del lugar a analizar, para determinar su calidad en cuanto a contaminación orgánica e inorgánica (Ríos, 2016).

4.1.10 Definición de muestreo

Según la Norma (NTE-INEN-2176, 2013) “es el proceso de tomar una porción, lo más representativa, de un volumen de agua para el análisis de varias características definidas” (p.1).

4.1.11 Tipos de muestreo

Existen dos tipos de muestreo: manual y automático.

4.1.12 Muestreo manual

Es recomendable en sitios de difícil acceso o aquellos que mediante ciertas adaptaciones puedan facilitar la toma de muestras. El equipo necesario para la recolección de muestras, resulta mínimo. Los muestreadores manuales de uso común son los siguientes:

- Botellas plásticas (polietileno) de 1-2 litros de boca ancha (5cm).

- Baldes provistos de una soga, normalmente este arreglo es aconsejable para sitios de difícil acceso.
- Cucharas o cucharones que cuenten con un mango largo.
- Recipientes con lastre, este arreglo se utiliza en sitios de difícil acceso cuando no se puede sumergir el recipiente en la corriente.
- Bombas manuales (Ramírez, 2011).

4.1.13 Muestreo automático

Es recomendable para puntos de muestreo con acceso muy difícil o cuando se tiene la facilidad de contar con un muestreador automático. Resulta conveniente cuando se toman muestras compuestas que requieren de varias horas para su formación (Ramírez, 2011).

La NTC-ISO-5667-6, (1996) afirma que estos dispositivos "se pueden usar para aprovechar muchas situaciones de muestreo en ríos y corrientes, ya que permiten recolectar una muestra continua o una serie de muestras sin intervención manual" (p.5).

4.1.13.1 Equipo de muestreo automático

Es importante seleccionar el equipo adecuado que cumpla con las características necesarias, por ejemplo, resistente a la corrosión que no contamine las muestras, etc. (Ramírez, 2011).

Los criterios para la selección del equipo adecuado están indicados en el Anexo A de la norma (NTE-INEN-2176, 2013, p. 11). El equipo necesario es para proteger, llenar, enfriar, etc., en la Tabla *1* se menciona los tipos de equipos automáticos.

Tabla 1
Tipos de equipos automáticos disponibles para toma de muestras.

Tipo	Descripción
Tiempo dependiente	Recolectan muestras individuales, compuestas o continuas, pero ignoran las variaciones del flujo.
Volumen dependiente	También recogen muestras individuales, compuestas o continuas, pero tomando en cuenta las variaciones del flujo.

Fuente: (NTE-INEN-2176, 2013, p. 7)
Elaboración: El autor

La selección del tipo de equipo para toma de muestra depende del propósito del estudio.

4.1.14 Ventajas y desventajas de los tipos de muestreo

Tabla 2
Comparación de los tipos de muestreo de agua.

TIPO	VENTAJA	DESVENTAJA
MANUAL	Permite a la persona que recolecta la muestra, observar los cambios en las características del agua, tales como suspensión de sustancias, variaciones de caudal, color, olor, etc. y tomar nota de cualquier característica especial, así como corregir inmediatamente fallas que se puedan presentar.	El procedimiento puede resultar demasiado costoso, en cuanto a tiempo y dinero cuando se emplea en programas de toma de muestras rutinaria o en muestreos a gran escala.
AUTOMÁTICO	Se puede eliminar o reducir los errores humanos inherentes a la toma de muestras, se reducen los costos laborales y se posibilita el muestreo con mayor frecuencia, por lo que su uso está cada vez más extendido.	Puede presentar complejidad en su calibración, el equipo requiere revisiones continuas para prevenir atascamientos y otras fallas.

Fuente: (Ramírez, 2011). Elaboración: El autor

4.1.15 Toma de muestras en corrientes o canales

Según Ramírez, (2011) (…) Si la corriente es muy ancha, puede existir gran variabilidad, lo cual hace necesario tomar varias muestras en la sección transversal o tomar una muestra integrada.

El muestreo desde las riberas del río no es recomendable a no ser que no haya otra alternativa; en general, las muestras se deben tomar en tramos rectos preferiblemente en los puentes. (…).

Para la profundidad a la cual se toma el agua, es aconsejable seguir los mismos criterios que se emplean en hidrología para medir la velocidad del agua, es decir, a 0,2H y a 0,8H del fondo. Si no se tiene sino presupuesto para una sola muestra, esta se debe tomar a 0,6H. Cuando el río es ancho, profundo o no muy uniforme, las muestras se deben tomar como lo indica la Figura 2 (p.229).

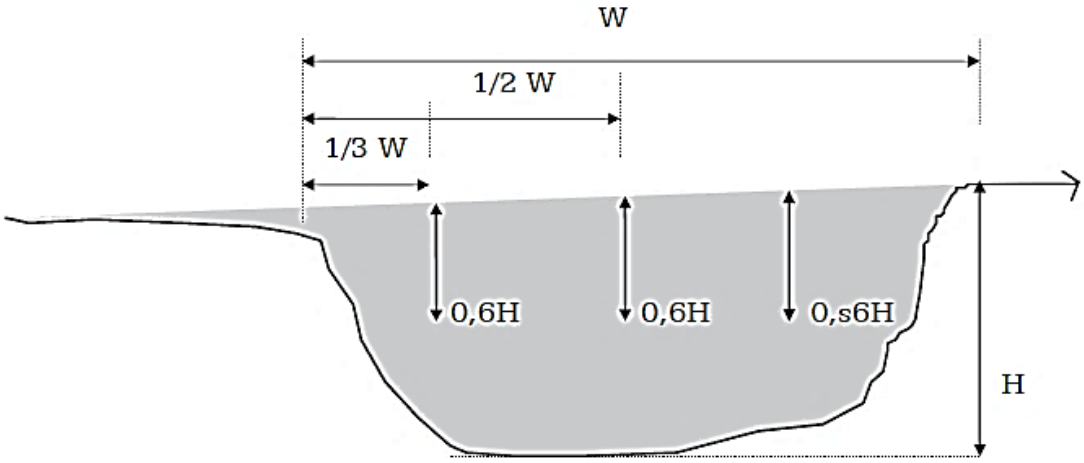


Figura 2: Localización de los puntos de muestreo en una sección transversal de una corriente o un canal.

Fuente: (Ramírez, 2011)

4.1.16 Muestreo isocinético

Técnica en la cual la muestra de una corriente de agua pasa dentro del orificio de una sonda de muestreo con una velocidad igual a la de la corriente en cercanía inmediata de la sonda (NTC-ISO-5667-6, 1996).

4.1.17 Tipos de muestras

Los tipos más comunes de muestras para aguas corrientes son las puntuales, las periódicas, las compuestas (alícuotas) y las integradas. Los diferentes tipos de muestras pueden tomarse manual o automáticamente (tipos de muestreo) (NTC-ISO-5667-6, 1996, p. 2).

4.1.17.1 Muestras puntuales

Son muestras individuales, recogidas de forma manual o automática, para aguas en la superficie, a una profundidad específica y en el fondo (NTE-INEN-2176, 2013, p. 2).

4.1.17.2 Muestras periódicas

Los tipos de muestras periódicas tomadas a los diferentes intervalos se describen en la Tabla *3*.

Tabla 3
Tipos de muestras periódicas.

Tipo / Intervalo	**Descripción**
Tiempo fijo (dependientes del tiempo)	La muestra se toma usando un mecanismo cronometrado para iniciar y finalizar la recolección del agua. Se bombea la muestra dentro de uno o más recipientes durante un período fijo.
Fijo de flujo (dependientes del volumen)	Se toma cuando la calidad del agua y el volumen del efluente no están relacionados. Por cada unidad de volumen de flujo, se recolecta una muestra controlada independientemente del tiempo.
Fijo de flujo (dependientes del flujo)	Se toma cuando la calidad del agua y la variación del flujo efluente no están relacionados. Se recolecta volúmenes diferentes de muestra a intervalos constantes de tiempo. El volumen depende del flujo.

Fuente: (NTE-INEN-2176, 2013) Elaboración: El autor

4.1.17.3 Muestras compuestas

Según la Norma NTE-INEN-2176, (2013) "es la formada por dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas." (p. 1).

Se pueden obtener de forma manual o automática. Se toman continuamente muestras que se reúnen para obtener muestras compuestas (NTE-INEN-2176, 2013, p. 3). Se puede recolectar una muestra compuesta según el flujo o según el tiempo, como se indica en la Tabla *4*:

Tabla 4
Tipos de muestras compuestas.

Tipo	Descripción
Según el flujo	Se toma muestras de igual volumen, mayor caudal de la corriente, menores los intervalos de tiempo de muestreo y viceversa.
Según el tiempo	Se toman las muestras a intervalos de tiempo constantes, pero el volumen de la muestra es proporcional al caudal de la corriente.

Fuente: (Ramírez, 2011, p. 220)

Ramírez, (2011) sostiene que, en ambos casos, la cantidad de muestra por tomar depende del número y el tipo de análisis; el volumen mínimo total a componer es de 2 litros. También menciona que es común tomar muestras compuestas durante 24 horas (…) sin embargo, se

puede tomar muestras de 2,4,8 ó 16 horas. Este tipo de muestra se compone, tomando y mezclando en un mismo recipiente un volumen (alícuota) de muestra.

4.1.18 Frecuencia de muestreo

Ramírez (2011) afirma que la frecuencia en la realización de un muestreo (diario, mensual, semanal, semestral, etc.) está en función del objetivo, los costos y la precisión deseada. En adición a estos factores, el muestreo depende de la variabilidad (varianza) del parámetro por muestrear. Hay muestreos en épocas de caudales altos, bajos, etc. A continuación, se menciona las frecuencias sugeridas para la recolección de muestras compuestas (p.222).

Tabla 5
Frecuencias sugeridas para la recolección de muestras compuestas.

Parámetro	Alta variabilidad (horas)	Baja variabilidad (horas)
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	1 – 4	1 – 12
DQO, COT (Demanda Química de Oxígeno)	2	8
SS	8	24
Alcalinidad-Acidez	1	8
N-P	24	24
Metales pesados	4	24
pH	continua	4

Fuente: (Ramírez, 2011, pág. 222)

Ajustes a las frecuencias de muestreo pueden ser hechos después de conocer las variaciones diarias, semanales y mensuales del agua por muestrear y, por consiguiente, de las corrientes receptoras.

4.1.19 Características del equipo de muestreo

4.1.19.1 Líneas de muestreo

Las líneas de muestreo son generalmente usadas en muestreos automáticos para proporcionar muestras a los analizadores continuos o monitores. Durante el tiempo de permanencia, la muestra puede considerarse como almacenada en un recipiente acoplado a la línea de muestreo. Por eso, las guías para la selección del material de los recipientes se aplican también a las líneas de muestreo (NTE-INEN-2176, 2013, p. 5).

4.1.19.2 Tipos de recipiente para muestras

- ***Recipientes normales***

Son adecuadas las botellas de polietileno y las de vidrio de borosilicato para la toma de muestras en las que se realizará el análisis de los parámetros físicos y químicos de las aguas naturales. La tapa de tornillo, en las botellas de boca angosta y ancha se debe acoplar con tapas y tapones de plástico inerte (NTE-INEN-2176, 2013, p. 5).

- ***Recipientes especiales***

En el caso de que la muestra contenga materiales foto sensitivos, incluidas las algas, que requieren ser protegidas de la exposición a la luz, se recomienda los recipientes de materiales opacos o de vidrio no actínico, y deben ser colocados en cajas a prueba de luz durante el almacenamiento por largos períodos (NTE-INEN-2176, 2013, p. 5).

4.1.20 Selección del método de muestreo

La manera más adecuada para realizar el muestreo físico-químico, según la norma (NTC-ISO-5667-6, 1996) es el siguiente:

4.1.20.1 Muestreo físico-químico

La NTC-ISO-5667-6, (1996) menciona que es conveniente seleccionar e instalar cuidadosamente los sistemas de muestreo para ríos, para evitar el bloqueo de la entrada por desperdicios en el agua. Se recomienda proteger la entrada rodeándola con una malla gruesa y

una fina; puede requerirse la inspección frecuente y la remoción de los desperdicios acumulados. La entrada del muestreador también debe ofrecer una resistencia mínima al flujo.

El crecimiento de bacterias y/o algas en los tubos de la bomba puede causar problemas, por lo que se debería evitar mediante limpieza frecuente u otras medidas apropiadas. Se recomienda tener en cuenta la contaminación potencial de la muestra por material orgánico de los diferentes tipos de tubos, cuando se escoge el material de los tubos.

Idealmente, el muestreo debería tener lugar en condiciones isocinéticas, pero donde esto es irrealizable, la velocidad de flujo lineal dentro del tubo de admisión no debe descender más de 0,5 m/s ni exceder los 3,0 m/s. (…)

Donde existan variaciones significativas en los niveles del agua, el muestreo se facilita montando el sistema de muestreo o entrada en una plataforma flotante; sin embargo, una plataforma flotante puede ser vulnerable a daños. Las alternativas incluyen el uso de entradas sumergidas suspendidas de boyas flotantes (o artefactos similares), en donde la entrada flotante está conectada al artefacto de muestreo mediante un tubo flexible anclado a bloques con lastre colocados en el lecho del río. Un montaje más costoso pero permanente, consiste en conectar el dispositivo de muestreo a una entrada multipuntos permanente, el cual permite al dispositivo de muestreo tomar muestras a la profundidad más adecuada para el propósito de muestreo particular. (p. 9).

4.2 FUNDAMENTACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la ciencia que trata la determinación de la rapidez o razón con que la energía (calor) se transfiere de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura (Yunus A. Cengel, 2011).

4.2.1 Primera Ley de la Termodinámica

Yunus A. Cengel, (2011) , expresa que “en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede cambiar las formas”(p.11). El balance de energía para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como:

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta E_{sistema} \tag{1}$$

Donde:

E_{ent} = Energía total que entra en el sistema (J).

E_{sal} = Energía total que sale del sistema (J).

$\Delta E_{sistema}$ = Cambio en la energía total del sistema (J).

También se puede expresar en forma de razones (W) como:

$$\dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sal} = dE_{sistema}/dt \tag{2}$$

Para un sistema de estado estacionario (el estado de ese sistema no cambia durante el proceso), el balance de energía se reduce a (en forma de razones):

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal} \tag{3}$$

4.2.2 Calor sensible

Es la energía calorífica que suministrada a un objeto o un cuerpo hace que eleve su temperatura sin producir un cambio de fase. Se determina mediante la ecuación:

$$\dot{Q}_s = \dot{m}C_p(T_i - T_f) \tag{4}$$

Donde:

$\dot{Q}_s$ = Calor sensible (W).

$\dot{m}$ = Flujo másico (kg/s).

C_p = Calor específico (J/kg K).

T_i = Temperatura inicial (°C).

T_f = Temperatura final (°C).

4.2.3 Calor latente

Es la cantidad de energía calorífica para que una sustancia cambie de fase. Se determina a través de la ecuación:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}L_f = \frac{m}{t}L_f \tag{5}$$

Donde:

$\dot{Q}_L$ = Calor latente (W).

$\dot{m}$ = Flujo másico (kg/s).

m = masa (kg); $t =$ tiempo (s).

L_f = Calor latente de fusión (kJ/kg).

4.2.4 Mecanismos de Transferencia de calor

El calor se puede transferir en tres maneras diferentes: conducción, convección y radiación.

4.2.4.1 Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de la interacción entre esas partículas, puede tener lugar en los sólidos líquidos o gases (Yunus A. Cengel, 2011 p.18).

Se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{cond} = kA\frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = kA\frac{T_1 - T_2}{L} = -kA\frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{6}$$

El signo negativo garantiza que la transferencia de calor en la dirección x positiva sea una cantidad positiva.

Donde:

$\dot{Q} =$ Calor por conducción (W).

$k =$ Conductividad térmica del material (W/m. K).

$A =$ Área perpendicular al flujo de calor (m^2).

$T_1 =$ Temperatura en el punto 1 (°C).

T_2 = Temperatura en el punto 2 (°C).

$\Delta x = L$ = Espesor del material (m).

4.2.4.2 Convección

La convección es la forma de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento, entre más rápido sea el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección (Yunus A. Cengel, 2011).Se expresa por la ley de Newton del enfriamiento como:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\propto) \tag{7}$$

Donde:

$\dot{Q}_{conv}$ = Calor por convección (W).

h = Coeficiente de calor por convección (W/m^2 °C).

A_s = Área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección(m^2).

T_s = Temperatura de la superficie (°C).

$T_\propto$ = Temperatura del fluido suficientemente alejado de la superficie (°C).

4.2.4.3 Radiación

Según Yunus A. Cengel, (2011) la radiación "es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas" (p.27).

La transferencia de calor por radiación entre una superficie y la superficie circundante se expresa por:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_{alred}^4) \tag{8}$$

Donde:

$\dot{Q}_{rad}$ =Calor por radiación (W).

ε = Emisividad de la superficie.

A_s = Área superficial (m^2).

T_s = Temperatura superficial (°C).

T_{alred} =Temperatura de superficies circundantes o alrededores (°C).

σ =Constante de Stefan-Boltzmann =5.6704 x 10^{-8} $W/m^2 \cdot K^4$

4.2.5 El concepto de resistencia térmica

Es la resistencia que ofrece una superficie a la transferencia de calor. Depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio.

4.2.6 Conducción de calor en cilindros

En operación estacionaria, la transferencia de calor a través de un cilindro es constante ($\dot{Q}_{cond,cil} = constante$), entonces:

$$\dot{Q}_{cond,cil} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cil}} \tag{9}$$

Donde:

$\dot{Q}_{cond,cil}$ = Transferencia de calor por conducción en un cilindro (W).

T_1 = Temperatura en el punto 1 (°C).

T_2 = Temperatura en el punto 2 (°C).

R_{cil} = Resistencia térmica de la capa cilíndrica (°C/W) y se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$R_{cil} = \frac{In(r_2/r_1)}{2\pi Lk} \tag{10}$$

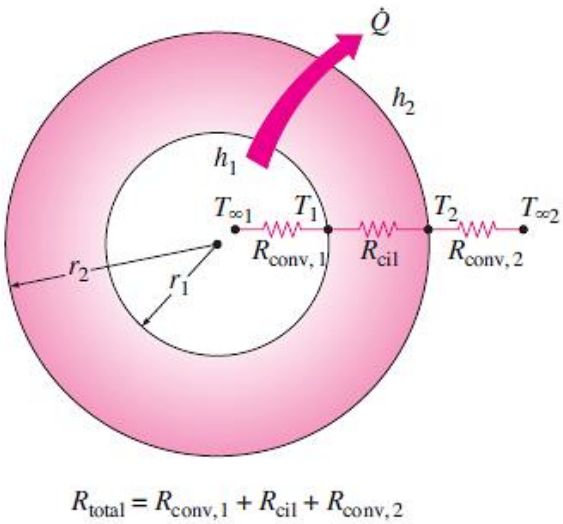


Figura 3: Red de resistencias térmicas para una capa cilíndrica (o esférica) sujeta a convección tanto en el lado interior como en el exterior.

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

Cuando una capa cilíndrica está expuesta a la convección en ambos lados (Figura 3) a fluidos que están a temperaturas $T_{\propto 1}$ y $T_{\propto 2}$ con coeficientes de transferencia de calor h_1 y h_2, la transferencia de calor en condiciones estacionarias se puede expresar como:

$$\dot{Q} = \frac{T \propto_1 - T_{\propto 2}}{R_{total}} \tag{11}$$

Donde:

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cil} + R_{conv,2} \tag{12}$$

$$R_{total} = \frac{1}{(2\pi r_1 L)h_1} + \frac{In(r_2/r_1)}{2\pi Lk} + \frac{1}{(2\pi r_2 L)h_2} \tag{13}$$

Siendo L la longitud del cilindro.

4.2.6.1 Cilindros con capas múltiples

Yunus A. Cengel (2011) sostiene que “la transferencia de calor estacionaria a través de una capa cilíndrica se puede manejar como en el caso de una pared plana de capas múltiples, simplemente al sumar una resistencia adicional en serie por cada capa adicional” (p.156). Por ejemplo, la razón de la transferencia de calor estacionaria a través del cilindro compuesto de

tres capas, de longitud L, que se muestra en la Figura 4, con convección en ambos lados, se puede expresar como:

$$\dot{Q} = \frac{T \propto_1 - T_{\propto 2}}{R_{total}} \tag{14}$$

Donde R_{total} es la resistencia térmica total, expresada como:

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cil,1} + R_{cil,2} + R_{cil,3} + R_{conv,2} \tag{15}$$

$$R_{total} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{In(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{In(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{In(r_4/r_3)}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2 A_4} \tag{16}$$

Donde: $A_1 = 2\pi r_1 L$ y $A_4 = 2\pi r_4 L$. (17)

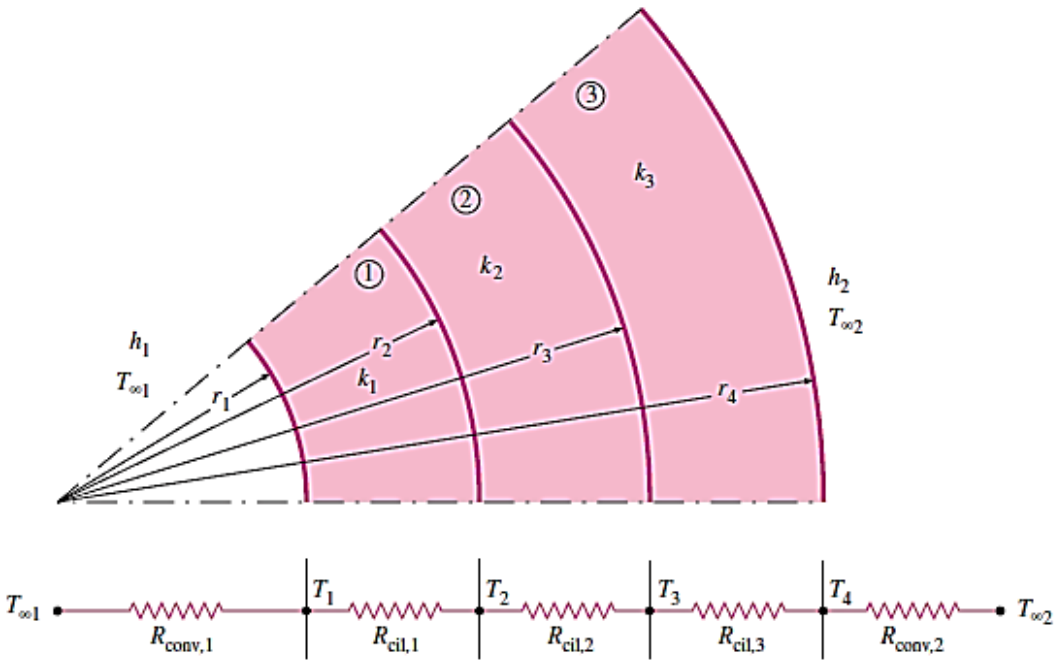


Figura 4: Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto de tres capas sujeto a convección en ambos lados.

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

4.2.7 Convección natural

El movimiento que resulta del reemplazo continuo del aire calentado que está en la vecindad de un objeto o una superficie caliente por el aire más frío cercano, se llama corriente de convección natural y la transferencia de calor que se mejora como resultado de esta corriente

se llama transferencia de calor por convección natural, en la *Tabla 6* se muestra algunos valores típicos para la convección (Yunus A. Cengel, 2011).

Tabla 6
Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Tipo de convección	h, W/m^2 °C
Convección libre de gases	2-5
Convección libre de líquidos	10-1000
Convección forzada de gases	25-250
Convección forzada de líquidos	50-20000
Ebullición y condensación	2500-100000

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

4.2.7.1 Coeficiente de expansión volumétrica

Es una medida del cambio en el volumen de una sustancia con la temperatura, a presión constante. Este coeficiente para un gas ideal (P= ρRT) a una temperatura T es equivalente a la inversa de la temperatura:

$$\beta = \frac{1}{T} \tag{18}$$

Donde:

$\beta =$ Es el coeficiente de expansión volumétrica para un gas ideal (1/K).

$T =$ Es la temperatura expresada en escala absoluta (K).

4.2.7.2 El número de Grashof

Yunus A. Cengel (2011) afirma que "es una medida de las magnitudes relativas de la fuerza de flotabilidad y la fuerza viscosa en oposición que actúan sobre el fluido" (p.526). Se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\alpha)L^3}{\nu^2} \tag{19}$$

Donde:

$Gr_L =$ Número de Grashof (adimensional).

$g =$ Aceleración gravitacional (m/s^2).

$\beta =$ Coeficiente de expansión volumétrica (1/K), $\beta = 1/T$ para los gases ideales.

T_s = Temperatura de la superficie (°C).

T_α = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie (°C).

L = Longitud característica de la configuración geométrica (m).

ν = Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s).

4.2.7.3 El número de Prandtl

Yunus A. Cengel, (2011) afirma que el "número de Prandtl, describe la relación entre la difusividad de la cantidad de movimiento y la difusividad térmica (p.527)". En el ANEXO 1 se puede encontrar las propiedades del aire a diferentes temperaturas y su respectivo Pr.

4.2.7.4 El número de Rayleigh

Se puede considerar como la razón de las fuerzas de flotabilidad y (los productos de) la difusividad térmica y de cantidad de movimiento (Yunus A. Cengel, 2011). Se determina mediante:

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\alpha)L^3}{\nu^2} Pr \tag{20}$$

Las relaciones de transferencia de calor en la convección natural se basan en estudios experimentales. Por lo tanto, existen correlaciones que más se usan y son las más conocidas.

La Correlación de Churchill y Chu para la convección libre sobre una superficie vertical a temperatura constante aplicable para todo Ra_L es:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = \left\{0{,}825 + \frac{0{,}387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0{,}492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2 \tag{21}$$

Con las propiedades calculadas a:

$$T_f = \frac{T_s + T_\propto}{2} \tag{22}$$

Donde:

$\overline{Nu}_L$ = Número de Nusselt promedio.

$\bar{h}$ = Coeficiente promedio de calor por convección (W/m^2 °C).

L = Longitud característica de la configuración geométrica (m).

k = Conductividad del fluido cercano a la superficie a la temperatura T_f (W/m. K).

Ra_L = Número de Rayleigh.

Pr = Número de Prandtl.

T_f =Temperatura de película (promedio) (°C).

T_s =Temperatura de la superficie (°C).

$T_\propto$ =Temperatura del medio circundante (°C).

4.3 FUNDAMENTACIÓN DE MÁQUINAS DE FLUIDOS

4.3.1 Bombas Hidráulicas

Rojas, (2017) afirma que "una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve" (p.13). Según Villavicencio, (2017) hay dos tipos básicos de bombas: de desplazamiento positivo y dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento.

Las bombas de desplazamiento positivo tienen un contorno móvil que, por cambios de volumen, obligan al fluido a avanzar a través de la máquina. Estas bombas se pueden clasificar como sigue:

A. Alternativas
   - Se encuentra la de pistón y la de diafragma.

B. Rotatorias

1. Rotor simple
   - Paleta deslizante.
   - Tubo flexible.
   - Tornillo.
   - Peristáltica.
2. Rotor múltiple
   - Engranaje.
   - Lóbulo.

Las bombas dinámicas, simplemente añaden cantidad de movimiento al fluido por medio de paletas, álabes giratorios o ciertos dispositivos especiales (Villavicencio, 2017). Las bombas dinámicas pueden clasificarse como sigue:

A. Rotativas

- Centrífugas o de flujo de salida radial.
- Flujo axial.
- Flujo mixto (entre radial y axial).

B. Diseños especiales

- Bomba de chorro o eyector.
- Bombas electromagnéticas para metales líquidos.
- Actuadores: martinetes hidráulicos o neumáticos.

4.3.1.1 Bomba de diafragma

Una bomba de diafragma desplaza líquido a través de sus membranas, las mismas que cuando se ponen en movimiento generan una succión, seguido de una impulsión del líquido a través de sus válvulas.

- ***Ventajas del uso de una bomba de diafragma***
- Mantenimiento sencillo.
- Se pueden usar en cualquier posición.
- Autocebado.
- Cierran sin fugas.
- Pueden trabajar en seco sin sufrir daños.

4.3.2 Propiedades físicas de los fluidos

Entre las propiedades más importantes de un fluido están la densidad, el peso específico y la viscosidad dinámica y cinemática.

4.3.2.1 Densidad

La densidad se mide como masa por unidad de volumen. El agua tiene su máxima densidad a 4 °C y disminuye a partir de allí con la temperatura (Ramírez, 2011, p. 53). De acuerdo a (Mataix, 1986, p. 14) se expresa por:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{23}$$

Donde:

ρ = Densidad (kg/m^3).

m = Masa (kg).

V = Volumen (m^3).

4.3.2.2 Peso específico

Peso específico es el peso por unidad de volumen (Mataix, 1986, pág. 15). Se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g \tag{24}$$

Donde:

γ = Peso específico (N/m^3).

W = Peso (N).

V = Volumen (m^3).

ρ = Densidad (kg/m^3).

g = Gravedad universal (9,81 m/s^2).

4.3.2.3 Viscosidad

Existe la viscosidad dinámica y la cinemática.

- ***Viscosidad dinámica***

Mataix, (1986), afirma que **“**en los fluidos la deformación aumenta constantemente bajo la acción del esfuerzo cortante, por pequeño que éste sea”. Su unidad en el sistema internacional (SI) es el N.s/m^2 (p. 20)

- ***Viscosidad cinemática***

La viscosidad cinemática es la relación de la viscosidad dinámica η a la densidad ρ. Según Mataix, 1986, se puede calcular mediante la Ecuación (25) (p. 24).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \tag{25}$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática (m^2/s).

η= Viscosidad dinámica (N.s / m^2).

ρ= Densidad (kg/m^3).

4.3.3 Definición de caudal

Caudal es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente (Mataix, 1986, p. 92).

$$Q = \frac{V}{t} = A\mathrm{V} \tag{26}$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s).

V = Volumen (m^3).

t = Tiempo (s).

A = Área de la sección transversal perpendicular al flujo (m^2).

V= Velocidad del flujo (m/s).

4.3.4 Ecuación de Bernoulli

Especifica el comportamiento de un fluido que se mueve a lo largo de una corriente y un fluido ideal en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee se conserva constante a lo largo de su recorrido (Rojas , 2017, p. 13).

Agüera Soriano, (2002) menciona que un líquido en movimiento posee pues tres clases de energía: *cinética* $(V^2/2)$, *de presión* (P/γ) *y de posición (z)* (p. 85). En metros de columna de líquido la ecuación es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_f \qquad (27)$$

Donde:

$P =$ Presión a la que está sometido el fluido (Pa).

$g =$ Gravedad universal (9,81m/s^2).

z = Altura de posición respecto a un plano de referencia en metros (m).

$h_f =$ Pérdida de carga (m).

V = Velocidad del flujo (m/s).

$\gamma =$ Peso específico del fluido (N/m^3).

4.3.4.1 Ecuación generalizada de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_m - H_t = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_f \qquad (28)$$

Donde:

H_m = Energía transmitida por la bomba al fluido (m).

H_t= Energía recibida por la turbina del Fluido (m).

4.3.5 Potencia de un flujo

Soriano, (2002), afirma que “la potencia puede expresarse de la siguiente manera:” (p. 88).

$$P = \rho g Q H = \gamma Q H \tag{29}$$

Donde:

$H =$ Altura en metros (m).

Los demás términos son los definidos anteriormente.

4.3.6 Resistencia de superficie en conducciones

4.3.6.1 Pérdidas primarias y secundarias en tuberías

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases: primarias y secundarias. (Mataix, 1986)

4.3.6.2 Pérdidas primarias

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento) (Mataix, 1986, pág. 203).

Se pueden calcular por 2 métodos: Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.

- ***Rugosidad relativa***

Es el cociente entre la rugosidad absoluta propia del fluido y el diámetro del conducto del elemento analizado. (Rojas, 2017, p. 15) En el ANEXO 7 se muestra algunos tipos de tuberías y su valor de rugosidad (ε).

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \tag{30}$$

Donde:

$\varepsilon_r =$ Rugosidad relativa (m).

ε = Rugosidad absoluta.

$D =$ Diámetro interno de la tubería (m).

- ***Número de Reynolds***

Mott, (2006) afirma que “Es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa” (p.167). Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías encontramos que,

si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, éste será laminar y si el número de Reynolds es mayor que 4000 el flujo será turbulento. Se calcula por la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\mathrm{V}D}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \tag{31}$$

Donde:

$\mathrm{V} =$ Velocidad del flujo (m/s).

$D =$ Diámetro interno de la tubería (m).

$\nu =$ Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s).

$Q =$ Caudal (m^3/s).

- ***Método de Darcy Weisbach para las pérdidas primarias***

Este método es exacto y permite calcular las pérdidas primarias que se producen en el sistema hidráulico (Rojas Cumbicus, 2017). Según Aguera Soriano, (2002) las pérdidas primarias se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$h_{fp} = f\frac{L}{D}\frac{\mathrm{V}^2}{2g} = f\frac{8LQ^2}{\pi^2 g D^5} \tag{32}$$

Donde:

$h_{fp}=$ Pérdida de energía debido a la fricción.

$L =$ Longitud de la corriente del flujo (m).

$\mathrm{V} =$ Velocidad promedio del flujo (m/s).

$D =$ Diámetro interno de la tubería (m).

$Q =$ caudal (m^3/s).

f = Factor de fricción.

- ***Factor de fricción f***

Se puede calcular mediante dos ecuaciones, una se aplica en el régimen laminar y la otra se emplea en el turbulento. En la zona de flujo laminar, para valores por debajo de 2000, f se obtiene de la ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} \tag{33}$$

Para el flujo turbulento, la siguiente ecuación sirve para obtener directamente el valor del factor de fricción:

$$f = \frac{0{,}25}{\left[log\left(\frac{\varepsilon/D}{3{,}7} + \frac{5{,}74}{Re^{0{,}9}}\right)\right]^2} \tag{34}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds (Mott, 2006).

- ***Método de Hazen-Williams***

El Método de Hazen Williams (método aproximado) permite determinar las pérdidas ocasionadas en el conducto del tramo mencionado, siendo su ecuación la siguiente:

$$h_{fp} = 10{,}674 \frac{Q^{1{,}852} L}{C_{HW}^{110} D^{4{,}871}} \tag{35}$$

Donde:

C_{HW}= Factor de fricción (sin dimensiones).

L = Longitud de la corriente de flujo (m).

Q = Caudal (m^3/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m).

4.3.6.3 Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas y en toda clase de accesorios de tubería (Mataix, 1986, p. 203).

$$h_{fs} = \sum \mathrm{k} \frac{8Q^2}{\pi g D^4} = \sum \mathrm{k} \frac{\mathrm{V}^2}{2g} \tag{36}$$

En donde:

V = Velocidad del flujo (m/s).

g = Gravedad universal (9,81m/s^2).

k = Coeficiente de pérdida del accesorio de tubería.

4.3.7 Resistencia de los fluidos en general

Cuando un cuerpo sólido se mueve en un fluido, por ejemplo, una avioneta, se originan fuerzas que no ocurren cuando una nave espacial se mueve en el vacío. La resultante de estas fuerzas en la dirección del movimiento, es el arrastre o resistencia, el origen de esta fuerza es la viscosidad del fluido (Mataix, 1986 p.183).

4.3.7.1 Arrastre y Sustentación

Un cuerpo en movimiento en un fluido experimenta dos fuerzas resultantes de mayor importancia: el arrastre y la sustentación. De acuerdo a (Mott, 2006), "Las fuerzas de arrastre y sustentación son iguales, sin que importe si el cuerpo es el que se mueve en el fluido o el fluido el que se mueve alrededor del cuerpo" (p. 520).

4.3.7.2 Arrastre

"Es la fuerza sobre un cuerpo ocasionada por el fluido que opone resistencia en la dirección de movimiento del cuerpo" (Mott, 2006, p. 520). Se expresa en la siguiente forma:

$$arrastre = F_D = C_D \left(\frac{\rho \mathrm{V}^2}{2}\right) A \qquad (37)$$

Donde:

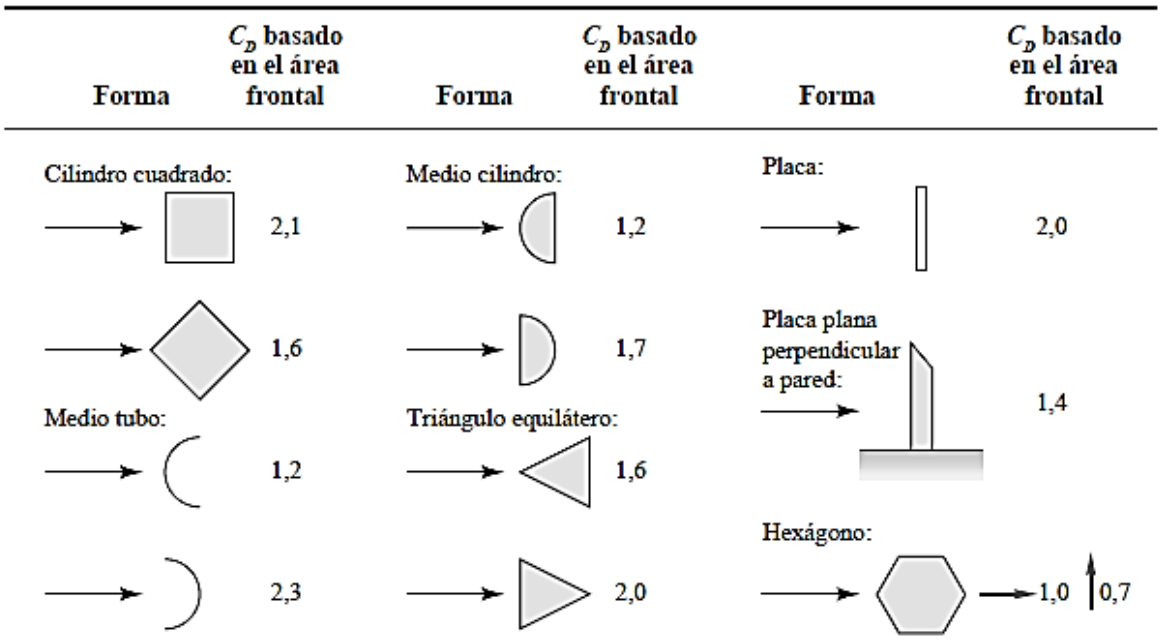
C_D = Coeficiente de arrastre (adimensional).

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3).

V = Velocidad de la corriente libre del fluido en relación con el cuerpo (m/s).

A = Área transversal proyectada del cuerpo perpendicular al flujo (m^2).

En la Figura 5 se muestra la forma de cuerpos bidimensionales y los coeficientes de arrastre para los mismos:



Continúa:

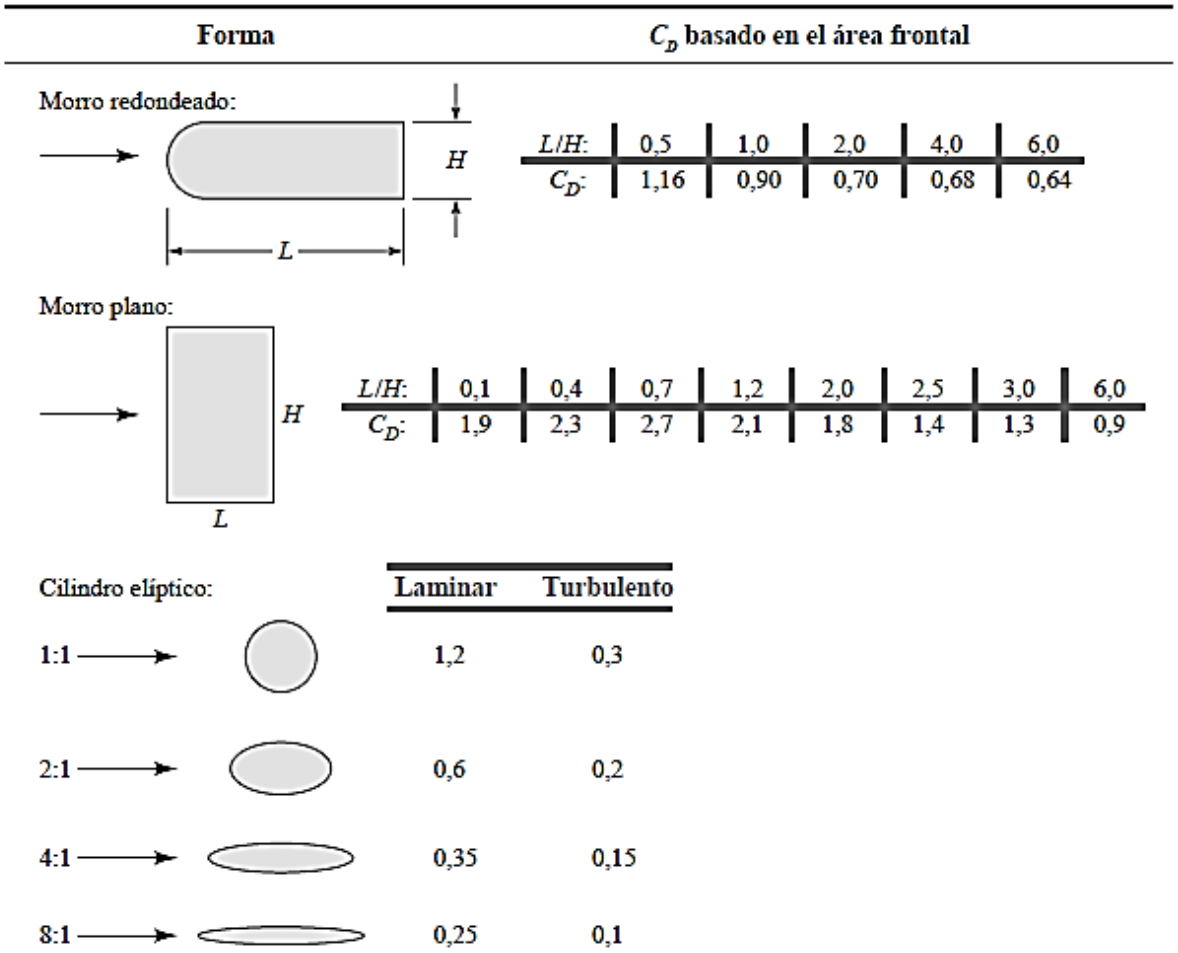


Figura 5: Resistencia de cuerpos bidimensionales para Re 10^4

Fuente: (White, 2004 p.468)

4.3.8 Principio de Arquímedes: Flotación

Mataix, (1986) afirma que "todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje ascensional igual al peso del líquido que desaloja (Figura 6)."

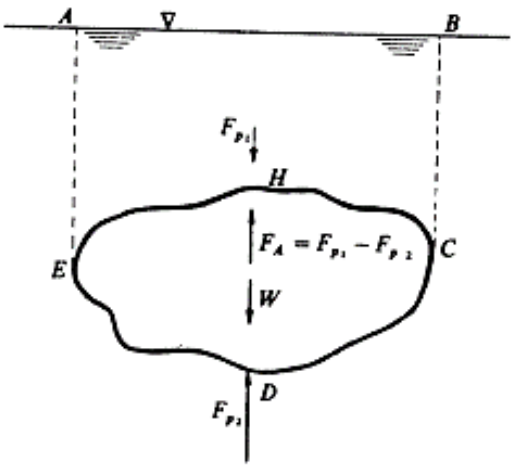


Figura 6: Principio de Arquímedes. W es el peso del cuerpo EHCD sumergido en un fluido (líquido o gas). FA es el empuje hidrostático, igual, mayor o menor que W, según los casos.

Fuente: (Mataix, 1986, pág. 72)

Puesto que sobre el cuerpo sumergido EHCD actúa también su peso W o sea la fuerza de la gravedad, y se tiene:

Si W > F_A el cuerpo se hunde totalmente.

Si W < F_A el cuerpo sale a la superficie hasta que el peso del fluido de un volumen igual al volumen sumergido iguale al peso W.

Si W = F_A el cuerpo se mantiene sumergido en la posición en que se le deje.

La fuerza de flotación es posible determinar mediante la siguiente ecuación:

$$F_b = \gamma_f V_d \tag{38}$$

Donde:

F_b = Fuerza de flotación (N).

γ_f = Peso específico del fluido ($\gamma_f = \rho g$) (N/m^3).

V_d =Volumen desplazado del fluido (m^3).

4.4 FUNDAMENTACIÓN DE DISEÑO MECÁNICO

4.4.1 Resistencia de Materiales

Según sea la disposición de las fuerzas superficiales que actúan sobre un sólido, el mismo puede estar sometido a esfuerzos normales (tracción y compresión), cortante, flexión y torsión (Villavicencio, 2017, p. 15).

4.4.2 Esfuerzos normales o axiales (tracción y compresión)

Un sólido de sección A está sometido a tracción o compresión si se encuentra sujeto a la acción de una o más fuerzas que halan o empujan sobre dicha sección. Halar representa una fuerza de tracción que tiende a alargar el sólido (Figura 7.a), mientras que empujar representa fuerzas de compresión que tienden a disminuir su tamaño (Figura 7.b), ambos de valor:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{39}$$

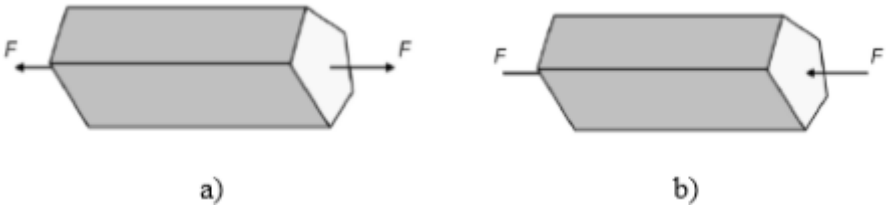


Figura 7: Elemento sometido a tracción (a) y sometido a compresión (b).

Fuente: (Villavicencio, 2017)

Donde:

σ = Esfuerzo normal (MPa).

F = Fuerza que actúa sobre el sólido (N).

A = Sección transversal (m^2).

4.4.3 Esfuerzo Cortante

Un sólido de sección A se encuentra sometido a cortante cuando existen fuerzas que actúan de forma paralela al plano que las resiste y tiende a separar las dos partes que hay de cada lado del plano de cortadura (Figura 8); se calcula por:

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{40}$$

Figura 8: Elemento sometido a cortante.

Fuente: (Villavicencio, 2017)

Donde:

τ = Esfuerzo cortante (MPa).

F = Fuerza que actúa sobre el sólido (N).

A = Sección paralela a la fuerza (m^2).

4.4.3.1 Esfuerzo cortante doble

El esfuerzo cortante doble se puede determinar haciendo uso de la ecuación:

$$\tau_{prom} = \frac{F/2}{A} = \frac{F}{2A} \tag{41}$$

4.4.4 Flexión

Un sólido está sometido a flexión cuando sobre él actúan fuerzas perpendiculares a su eje y tienden a doblarlo (Figura 9). Su valor máximo viene dado por:

$$\sigma_f = \frac{Mf\ \ c}{I} \tag{42}$$

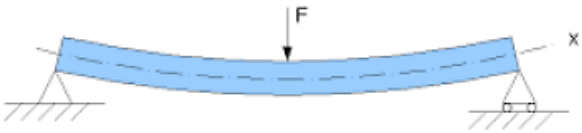


Figura 9: Elemento sometido a flexión.

Fuente: (Villavicencio, 2017)

Donde:

σ_f = Esfuerzo flector (Pa).

Mf = Momento flector (Nm)

c = Distancia desde el eje neutro hasta el punto en donde actúa la fuerza en m.

I = Momento rectangular de inercia (m^4). En el ANEXO 12 se indican los momentos de inercia de algunas secciones.

4.4.5 Factor de seguridad

Se define como la relación entre el esfuerzo límite del material (σ_{perm}) y el esfuerzo de diseño (σ_d). Para tener un diseño adecuado n_s>1. Entre mayor sea n_s más seguro será el diseño (Villavicencio, 2017). Se lo define como:

$$n_s = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_d} \geq 1 \tag{43}$$

Según Villavicencio, (2017) la resistencia de un elemento de máquinas depende de la clase, tratamiento y geometría del espécimen así como del tipo de carga que el elemento de la máquina experimente. El esfuerzo de diseño σ_d se relaciona con los esfuerzos permisibles, o con el valor reducido de la resistencia. El esfuerzo normal permisible σ_{perm} y el esfuerzo cortante permisible τ_{perm} para metales ferrosos y no ferrosos con varios tipos de carga se pueden representar como:

Tensión: $$0{,}45S_y \leq \sigma_{perm} \leq 0{,}60S_y \tag{44}$$

Cortante: $$\tau_{perm} = 0{,}40S_y \tag{45}$$

Flexión: $$0{,}60S_y \leq \sigma_{perm} \leq 0{,}75S_y \tag{46}$$

Compresión: $$\sigma_{perm} = 0{,}90S_y \tag{47}$$

Pugsley determinó sistemáticamente el factor de seguridad de la siguiente ecuación:

$$n_s = n_{sx}n_{sy} \tag{48}$$

Donde:

n_{sx} = Factor de seguridad que involucra características A, B y C.

n_{sy} = Factor de seguridad que involucra las características D y E.

En la Tabla *7* se proporciona los valores de n_{sx} para varias condiciones de A, B y C y en la Tabla *8* se muestra los valores de n_{sy} para distintas condiciones de D y E (Hamrock, Jacobson, & Schmid, 2000).

Tabla 7
Características de factor de seguridad A, B y C.

Característica [a]			**B=**			
			mb	b	r	p
A= mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A= b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A= r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A= p	C=	mb	1.7	2.15	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95

Fuente: (Hamrock, Jacobson, & Schmid, 2000)

[a] mb =muy bien, b = Bien, r = regular y p = pobre.
A = calidad de los materiales, mano de obra
B = control sobre la carga aplicada a la parte.
C= exactitud del análisis de esfuerzos, de la información experimental o de la experiencia con partes similares.

Tabla 8
Características del factor de seguridad D y E.

Característica [a]		**D=**		
		ns	s	ms
E =	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6

Fuente: (Hamrock, Jacobson, & Schmid, 2000)

[a] ms = muy serio, s = serio y ns = no serio
D = peligro para el personal
E = impacto económico.

4.4.6 Carga en columnas

Según Schaum, (1971) "Si la carga axial es de tracción, entonces se aplica $\sigma = \frac{F}{A}$. Si la carga axial es de compresión, se debe aplicar la ecuación adecuada de la columna" (p.46).

La ecuación de Euler para la carga crítica de una columna esbelta de sección transversal uniforme es:

$$F_{cr} = \frac{C\pi^2 \mathrm{E} A}{(L/K)^2} \tag{49}$$

Donde:

F_{cr} = Carga crítica que produce el pandeo.

C = Constante que depende de las condiciones de los extremos.

E = Módulo de elasticidad, psi (Pa).

A = Área de la sección transversal pulg^2 (m^2).

L = Longitud de la columna, pulg. (m).

K = Radio mínimo de giro, pulg. (m), el cual es:

$$K = \sqrt{\mathrm{I}/A} \tag{50}$$

Donde I es el momento de inercia mínimo alrededor del eje de flexión.

La carga crítica para columnas de longitud moderada y sección transversal constante se dan en varias fórmulas empíricas, una de las cuales es la de J. B. Johnson:

$$F_{cr} = S_y A \left(1 - \frac{S_y (L/K)^2}{4C\pi^2 \mathrm{E}}\right) \tag{51}$$

Donde:

S_y= Límite de fluencia, psi (Pa). Los demás símbolos son los mismos definidos para la fórmula de Euler.

El valor de C depende de las condiciones de los extremos como se muestra en la Figura 10 Generalmente puede ser apropiado un valor máximo de C=1, y cuando existe bastante flexibilidad en un extremo podría ser aconsejable un valor de C= 1/4.

La carga segura se obtiene dividiendo la carga crítica por un factor de seguridad N:

Carga segura F, ecuación de Euler:

$$F = \frac{F_{cr}}{N} = \frac{C\pi^2 \mathrm{E} A}{N(L/K)^2} \tag{52}$$

Carga segura F, ecuación de J. B. Jonhson:

$$F = \frac{S_y A}{N}\left(1 - \frac{S_y (L/K)^2}{4C\pi^2 \mathrm{E}}\right) \tag{53}$$

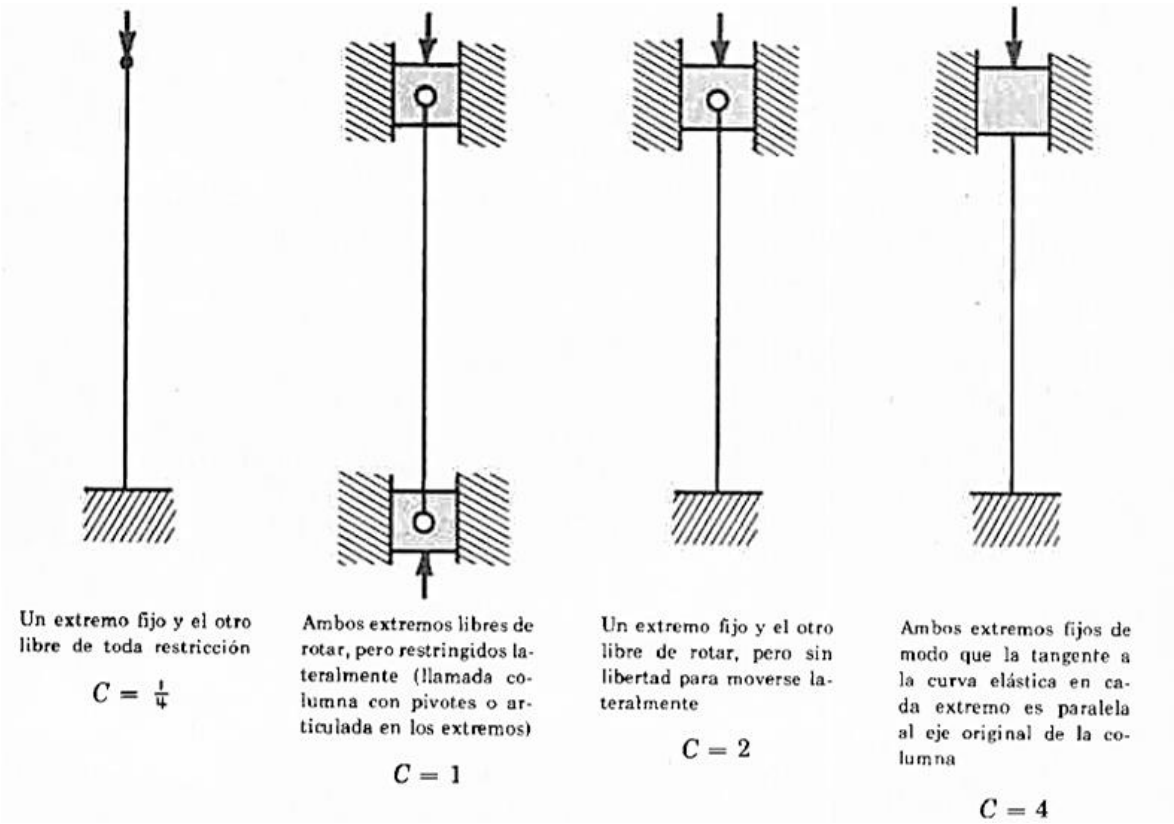


Figura 10: Valores para C de acuerdo a la posición de la viga.

Fuente: (Schaum, 1971)

El valor de L/K que determina cuándo debe usarse la ecuación de Euler o la de J.B. Johnson se encuentra igualando los valores dados para la carga crítica en ambas fórmulas:

$$\frac{C\pi^2 \mathrm{E} A}{(L/K)^2} = S_y A\left(1 - \frac{S_y (L/K)^2}{4C\pi^2 \mathrm{E}}\right) \tag{54}$$

De la cual:

$$\frac{L}{K} = \sqrt{\frac{2C\pi^2 \mathrm{E}}{S_y}} \tag{55}$$

Si L/k es menor que el dado por:

$$\frac{L}{K} < \sqrt{\frac{2C\pi^2 \mathrm{E}}{S_y}} \tag{56}$$

debe usarse la fórmula de J.B. Johnson que es válida hasta L/K=0.

Cuando la acción de columna se combina con otros efectos como torsión y flexión se usan los esfuerzos equivalentes de columna. El esfuerzo equivalente es un esfuerzo ficticio relacionado con el esfuerzo en el límite de fluencia en la misma forma que la carga real está relacionada con la carga crítica. El esfuerzo equivalente de columna para una carga real F, deducido de la ecuación de Euler es:

$$S_{eq} = \frac{F}{A}\left(\frac{S_y (L/K)^2}{C\pi^2 \mathrm{E}}\right) = \frac{F}{A} \propto \quad donde \quad \propto = \frac{S_y (L/K)^2}{C\pi^2 \mathrm{E}} \tag{57}$$

Se debe notar que el esfuerzo equivalente depende del esfuerzo en el límite de fluencia, mientras la carga crítica es indepediente de dicho punto.

El esfuerzo equivalente de columna para una carga real F, deducido de la ecuación de J.B. Johnson es:

$$S_{eq} = \frac{F}{A}\left(\frac{1}{1 - \frac{S_y (L/K)^2}{4C\pi^2 \mathrm{E}}}\right) = \frac{F}{A} \propto \quad donde \quad \propto = \frac{1}{1 - \frac{S_y (L/K)^2}{4C\pi^2 \mathrm{E}}} \tag{58}$$

En las ecuaciones para el esfuerzo equivalente, son válidas las siguientes relaciones, con los símbolo definidos anteriormente:

$$\frac{F_{cr}}{F} = \frac{S_y}{S_{eq}} = N \tag{59}$$

4.5 FUNDAMENTACIÓN DE MECÁNICA

4.5.1 La inercia rotacional o momento de inercia.

La inercia rotacional o momento de inercia se conoce como la oposición de un objeto a moverse en trayectoria curva. Se lo encuentra en dos tipos posibles de sistemas: sistemas de objetos y objetos extensos.

4.5.1.1 Sistemas de objetos

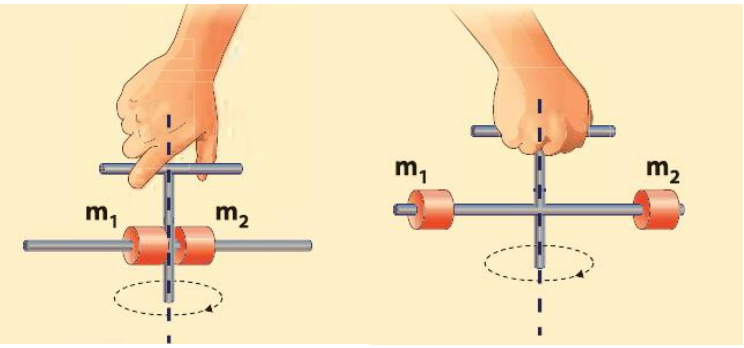


Figura 11: Las masas en este mecanismo pueden ser modeladas como partículas que giran alrededor de un eje común.

Fuente: (F., C., & M., 2009)

Este tipo de sistema se considera cuando el eje de giro no atraviesa el objeto los mismos que se modelan como si se tratara de partículas que tienen toda su masa concentrada en un punto y que giran con la misma velocidad angular a cierta distancia de un eje de giro (Figura 11). Para este tipo de sistema se usa la ecuación que define el momento de inercia de un sistema de n partículas como:

$$I = \sum_{i=1}^{n} m_i . r_1^2 = m_1 . r_1^2 + m_2 . r_2^2 + m_3 . r_3^2 + m_4 . r_4^2 + \ldots \tag{60}$$

Donde:

m_i = son las masas de las diferentes partículas que forman el sistema (kg).

r_i = son sus radios de giro alrededor de un eje común (m).

Si el sistema está compuesto de una única partícula que gira alrededor de un eje externo, entonces su momento de inercia se reduce a:

$$I = m.r^2 \tag{61}$$

4.5.1.2 Objetos extensos

Se trata de objetos sólidos y rígidos (que no experimentan deformaciones) que giran sobre un eje que atraviesa sus contornos.

Para calcular el momento de inercia de un objeto rígido no es posible usar la Ecuación (61) directamente, ya que este tipo de cuerpo distribuye su masa en toda su extensión de distinta manera, de acuerdo a la geometría que posee. En la Figura 12 se muestra algunos cuerpos geométricos comunes y sus respectivos momentos de inercia.

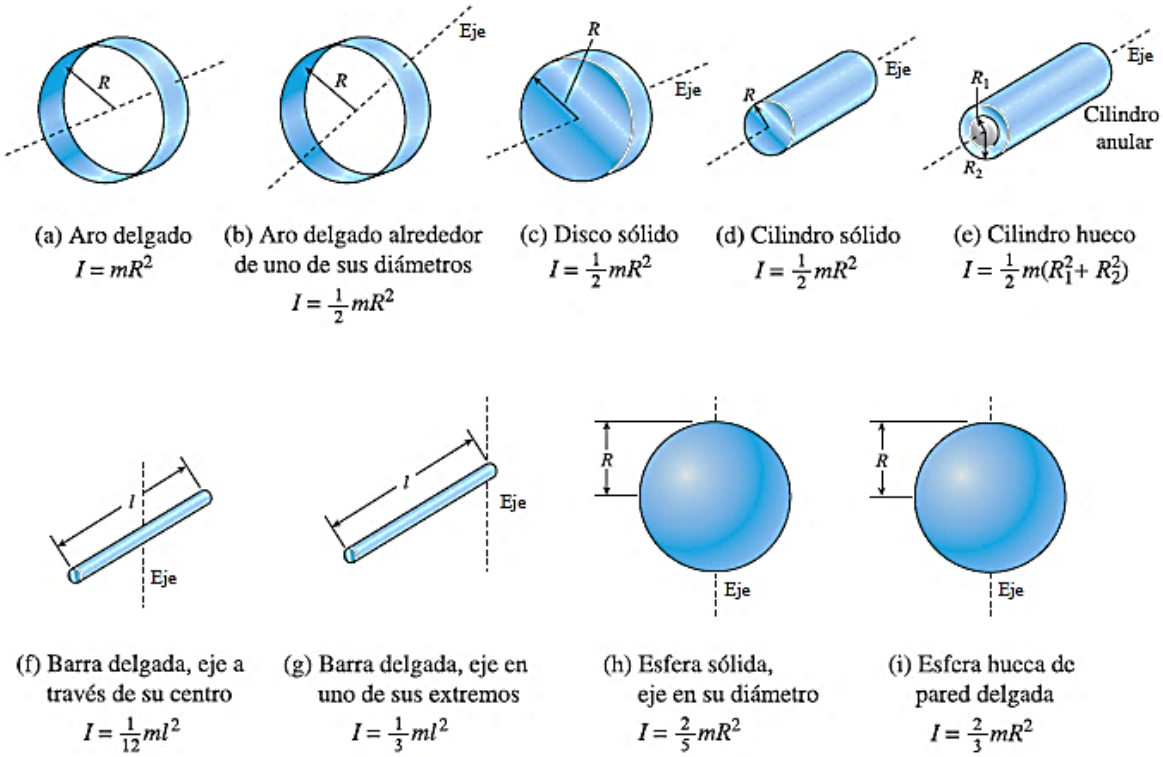


Figura 12: Momentos de inercia de algunos cuerpos geométricos respecto a diferentes ejes de rotación.

Fuente: (F., C., & M., 2009)

4.5.2 Transmisión de potencia

4.5.2.1 Torque

El torque necesario para hacer girar un objeto se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$T = I \propto \tag{62}$$

Y

$$\propto = \frac{\omega - \omega_0}{t} \tag{63}$$

Donde:

$I =$ Momento de inercia del objeto (kgm^2).

$\propto =$ Aceleración angular (rad/s^2).

$\omega_0 =$ Velocidad angular inicial (rad /s).

$\omega =$ Velocidad angular final (rad/s).

$t =$ Tiempo en que se alcanza la aceleración (s).

4.5.2.2 Potencia Nominal

La potencia nominal (P_N) es la potencia máxima que demanda una máquina en condiciones de uso normales; esto quiere decir que la máquina está diseñada para soportar esa cantidad de potencia, pero por factores como fluctuaciones de la corriente, uso excesivo o continuo, o situaciones de uso distintas a la del diseño la potencia real puede diferir de la nominal siendo más alta o más baja (Villavicencio, 2017).

Para elementos de transmisión mecánica se calcula por:

$$P_N = T.\omega \tag{64}$$

Donde:

T: Torque (Nm).

ω: Velocidad angular de salida (rad/s).

4.5.2.3 Potencia de diseño

Es la potencia que se emplea para el cálculo y la selección de un motor eléctrico, considerando el factor de servicio (Fs) (Villavicencio, 2017). Se calcula por:

$$P_D = P_N . F_s \tag{65}$$

4.5.2.4 Factor de servicio

Este factor es un multiplicador que indica el monto de carga adicional que un motor puede manejar, por encima de su potencia descrita en su placa (Villavicencio, 2017).

En el ANEXO 10 se puede encontrar los valores del factor de servicio recomendados para diferentes usos y aplicaciones de un motor eléctrico.

4.6 FUNDAMENTOS ELÉCTRICOS

4.6.1 Potencia Eléctrica

Hart, (2001) afirma que "la potencia de cualquier dispositivo se calcula a partir de la tensión que existe en las bornas del mismo y de la corriente que le atraviesa" (p.19):

$$P = VI \tag{66}$$

Donde:

$P =$ Potencia (W).

$V =$ Voltaje (V)

$I =$ Intensidad de corriente (A)

Jorge Aguilera, (2016) sugiere que para el dimensionado de un sistema que vaya a funcionar con corriente DC y corriente AC se siga los siguientes pasos:

- Estimación del consumo.
- Dimensionado del sistema de acumulación (batería).
- Dimensionado del Transformador de corriente AC a corriente DC.
- Selección del cableado.

4.6.2 Estimación del consumo de Energía

Para calcular la energía que se necesita, se deberá determinar la potencia de todos los aparatos que conste la instalación, individualmente, junto con el tiempo medio de uso de cada uno de ellos (Jorge Aguilera, 2016) .

Conocidos todos los aparatos, potencias y tiempos de uso la expresión para calcular la energía de consumo, distinguiendo entre los aparatos de corriente alterna y continua será:

$$E_{AC} = \sum P_{(AC)i} t_{di} \tag{67}$$

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)i} t_{di} \tag{68}$$

Donde:

E_{AC} = Energía consumida en AC (Wh).

E_{DC} = Energía consumida en DC (Wh).

P_i = Potencia Nominal (W).

t_{di} = Tiempo de uso (h).

Para calcular el consumo total, se tendrán en cuenta los rendimientos de las etapas existentes aplicando la siguiente expresión:

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{BAT}\eta_{TRANS}} \tag{69}$$

Donde:

E_T = Energía real requerida por el sistema (consumo) (Wh).

η_{BAT} = Rendimiento de la batería.

η_{TRANS} = Rendimiento del transformador de corriente AC a DC (en caso de haber en la instalación)

4.6.3 Dimensionamiento de la capacidad de una batería

Para definir el tamaño de una batería se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Máxima profundidad de descarga**

Es el nivel máximo de descarga, para proteger la duración de la misma. En baterías estacionarias de plomo-ácido un valor adecuado de este parámetro es de 0.7

- **Autonomía**

Es la capacidad de la batería para atender el consumo, sin sobrepasar la máxima profundidad de descarga.

4.6.3.1 Capacidad de la batería

Aguilera, (2016) afirma que "es la cantidad de energía que la batería debe ser capaz de almacenar" (p.13). Las expresiones que se utilizan para hallar la capacidad de la misma, tanto en Wh (vatios hora) como en Ah (amperios hora) son:

$$Cn(Wh) = \frac{E_T}{P_d} \tag{70}$$

$$Cn(Ah) = \frac{Cn(Wh)}{V_{bat}} \tag{71}$$

Donde:

$Cn =$ Capacidad nominal de la batería (Wh ó Ah).

$E_T =$ Energía real requerida (Wh).

$P_d =$ Máxima Profundidad de descarga de la batería.

$V_{bat} =$ Tensión nominal de la batería (V).

Es importante señalar que los periodos de autonomía cortos, alargan la vida de las baterías y dan al sistema mayor fiabilidad.

4.6.4 Dimensionamiento del Transformador de corriente AC a corriente DC

Las características de funcionamiento que definen un transformador o convertidor AC –DC son:

- Potencia Nominal (W ó kW).
- Tensión Nominal de Entrada (V).

- Tensión Nominal de Salida (V).
- Frecuencia de operación (HZ).
- Rendimiento (%).

A la hora de dimensionar el transformador se tendrá en cuenta la potencia que demanda la carga DC, de forma que se elegirá uno cuya potencia nominal sea algo superior a la máxima demandada por la carga (Jorge Aguilera, 2016).

4.6.5 Selección del cableado

Para la selección, se debe tener en cuenta la corriente en amperios (A) que va a circular por los conductores, la misma que no debe sobrepasar la capacidad de conducción de los mismos. Se elegirá un conductor cuya capacidad nominal sea algo superior a la corriente demandada por la carga.

4.7 FUNDAMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN

4.7.1 Automatización

Villavicencio, (2017) afirma que la automatización industrial es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. La automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del ser humano.

4.7.2 Plataformas de desarrollo de bajo costo

Casco, (2014) menciona que “el Raspberry Pi, Arduino y el BeagleBone Black son plataformas de desarrollo de múltiples aplicaciones, utilizadas para propósito general, surgen como propulsores de la iniciativa de inventar, crear e innovar desde gadgets prácticos de uso cotidiano, hasta aplicaciones más complejas” (p.1).

4.7.2.1 Arduino

Es una plataforma electrónica de código abierto compuesta de hardware y software para diseñar desarrollar y realizar pruebas de productos y sobre todo prototipos electrónicos.

Los archivos relacionados a sus aplicaciones se encuentran disponibles para uso personal o comercial, puesto que no se necesita licencia para su desarrollo, uso, redistribución o incluso venta, a excepción del nombre Arduino que es marca registrada (Casco, 2014).

- ***Software***

La plataforma utiliza un circuito integrado como microcontrolador que debe ser programado para realizar la tarea deseada. El IDE[1] cuenta con un editor para escribir el sketch[2] del hardware. Al compilar automáticamente se genera la función prototipo. El entorno de Arduino transforma el sketch en código C o C++, que a su vez se convierte en un archivo hexadecimal con instrucciones máquina entendibles para el microcontrolador que son transferidas al mismo mediante cable USB o el puerto serial de la PC (Casco, 2014).

- ***Hardware***

El modelo básico de Arduino cuenta con un microcontrolador AVR de 8 bits con otros componentes necesarios como un regulador de 5 voltios, un cristal de 16 MHz, resonador cerámico, conectores de salida, etc. (…). La plataforma puede interactuar fácilmente con sensores externos, circuitos y otros periféricos. Dependiendo del uso, la plataforma está disponible en varios diseños y configuraciones.

Figura 13: Arduino Uno, vista superior.

Fuente: (Casco, 2014)

[1] Integrated Development Environment (entorno de desarrollo integrado).

[2] El término sketch (esbozo), es utilizado en lugar de project, en alusión a la idea de que los usuarios son artistas.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 MATERIALES

Los principales materiales que se utilizaron para la ejecución de este proyecto, son los siguientes:

Materiales de oficina:

Computadora, impresora, materiales bibliográficos, internet, entre otros.

Software y herramientas CAD:

Paquete de Office, Software de modelado 3D, AutoCAD® en su versión de estudiante.

En la *Tabla 9* se muestran los materiales utilizados para la construcción del prototipo de muestreador semiautomático:

Tabla 9
Materiales utilizados.

Cantidad	Unidad	Denominación	Material
1	U	Plancha comercial 1 mm lijada N4	ACERO TIPO 430
5	lbs	Fibra aislante	Vidrio
1	lb	Electrodos de 1/8” para acero (E-308L)	Acero 308L
2	U	Codo 3/8” para manguera	ACERO AISI 304
1	U	Unión para manguera 3/8”	ACERO AISI 304
1	U	Tee para manguera 3/8”	ACERO AISI 304
13	U	Abrazadera para manguera de 3/8”	-------
5	m	Manguera 3/8”	PVC No tóxica
1	m	Manguera de 3/8”	Polietileno
1	m	Manguera para presión 300 psi	PVC
2	m	Varilla comercial ¼”	ACERO AISI 304
2	U	Varilla comercial 3/16”	ACERO AISI 304
30	U	Tornillos tripa de pato N°8	----------
4	U	Botella cilíndrica de 0,5 litros de capacidad	Polietileno
1	U	Motor PAP Nema 17	----------
1	U	Tarjeta Arduino UNO	----------
1	U	Shield LCD keypad para Arduino	----------
1	U	Convertidor 12 VDC-5VDC 2A	----------
1	U	Módulo relé 2 canales	----------
1	U	Condensador electrolítico 25 V 100 μF	----------
1	U	Acople para motor PAP a varilla ¼”	Acero

1	U	Bomba de diafragma 6000 ml/min	Diafragma de Neopreno
4	U	Pernos 1/8” x 1”	Hierro galvanizado
2	U	Electroválvula 12 V DC	PVC
1	U	Fuente de poder 110V AC / 12 V DC 10 A	----------
1	U	Power Socket IEC 320 C14 Macho 250 V 10A	----------
1	U	Cable de alimentación C14 hembra 1,8 m	----------

Fuente: El autor

Para la construcción de la estructura del prototipo se utilizó: soldadora eléctrica y electrodos E-308L.

5.2 MÉTODOS

Para el correcto desarrollo del proyecto de diseño del sistema semiautomático de recolección de muestras de agua, se cumplió la metodología que se muestra en la Figura 14.

Para dar cumplimiento al primer objetivo, se tomó como punto de partida la recopilación de información, acerca de los métodos de recolección de muestras de agua afluentes, así como de las normas existentes en el país e internacionalmente para realizar dicho procedimiento, esta búsqueda de información, se realizó a través de internet, tesis, artículos y se sistematizó la información obtenida.

Para el segundo objetivo, para determinar los requerimientos de operación del muestreador (volumen de la muestra, etc.), según consulta realizada a un docente investigador de la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja, sugirió utilizar las normas vigentes disponibles en el país para la recolección de muestras, específicamente se utilizó la norma NTE INEN 2176:2013 titulada “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO”, que se refiere a las muestras, muestreo y también especifica las características que debe tener un equipo de recolección de muestras automático. Además, también se utilizó como referencia la norma NTC ISO 5667-6:1996: titulada “CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS DE RÍOS Y CORRIENTES” (que es una adopción y traducción al español de la norma ISO 5667-6), donde se establece los

principios que se aplican al diseño de programas de muestreo, técnicas de muestreo y al manejo de muestras de agua de ríos y corrientes para evaluación física, química y microbiológica.

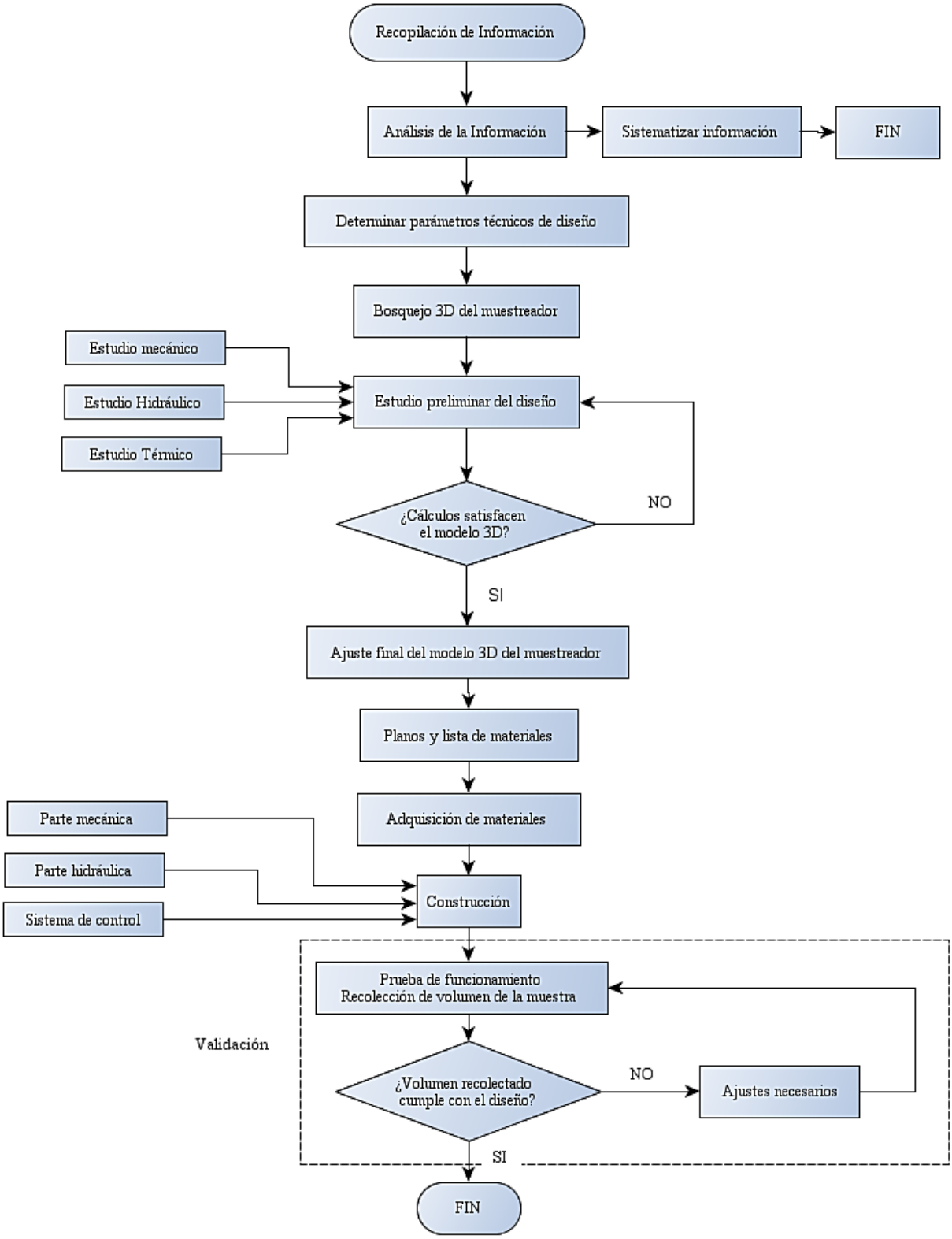


Figura 14: Metodología para el desarrollo del proyecto.

Fuente: El autor

Se realizó un análisis de las normas antes mencionadas para determinar los parámetros funcionales de la máquina, tales como volumen de la muestra, número de muestras, etc.

A partir de esto se obtuvo un enfoque general sobre la constitución del equipo, permitiendo desarrollar bosquejos para el diseño del mismo.

Se realizó el diseño conceptual basado fundamentalmente en la existencia de muestreadores análogos y posibles propuestas alternativas de los mismos (lluvia de ideas).

En cuanto a aspectos técnicos operacionales necesarios para la nueva propuesta y sobre los cuales no existe información técnica, se realizó ensayos prácticos con el fin de resolver algunas interrogantes de diseño. Dentro del proceso investigativo fue necesario el siguiente ensayo práctico:

Ensayo para determinar la fuerza necesaria para doblar la manguera en el sistema de posicionamiento de la misma. **-** Se realizó para determinar la fuerza y el torque necesario para doblar 8 cm de longitud de la manguera de impulsión un ángulo de 80°. Este dato permite calcular la potencia necesaria del motor encargado de girar una varilla acoplada a su eje, a la cual está sujeta la manguera y permite posicionarla en dirección de la botella.

Dentro del campo de la resistencia de los elementos mecánicos, la metodología se basó en la selección del material y se propuso una geometría básica adecuada para las necesidades funcionales de los diversos sistemas de la máquina a diseñar, luego se analizó el tipo de solicitación a la que se somete el componente, para poder definir las características geométricas comerciales, como espesores, diámetros, etc.

Para el sistema hidráulico se definió la tubería con su respectivo diámetro en base a las normas antes mencionadas.

En cuanto al modelado, se utilizó un programa en su versión de prueba para la realización del diseño y la representación 3D del prototipo de muestreador.

Para el control semiautomático del muestreador, se utilizó Arduino, puesto que es una plataforma de control muy popular y de bajo costo, el mismo controla el sistema de recolección de las muestras, de posicionamiento de la manguera para el llenado de las botellas y el de purgado de la manguera de aspiración.

Para el tercer objetivo, una vez realizado los ajustes finales al modelo 3D, se obtuvo los planos, se realizó la adquisición de los materiales para luego proceder a la construcción del prototipo utilizando tecnología existente en la localidad.

Para la validación del prototipo del muestreador, se ejecutó pruebas de recolección de muestras en un afluente cercano y se verificó que el volumen recolectado sea el correcto, se procedió a realizar los ajustes necesarios, hasta que se cumpla con el volumen de diseño.

6. RESULTADOS

6.1 Métodos de Recolección de Agua en Afluentes

En el muestreo de ríos y corrientes, la muestra del flujo de la corriente de agua es recolectada usando métodos de muestreo ya sea, isocinéticos integrados de profundidad, o no isocinéticos.

Los métodos isocinéticos integrados de profundidad son diseñados para producir una muestra promedio de una descarga (promediada por velocidad), es decir, cada unidad de la descarga de la corriente, es igualmente representada en la muestra, ya sea dividiendo la sección transversal de la corriente en intervalos de igual ancho (EWI por sus siglas en inglés) o de igual descarga (EDI por sus siglas en inglés).

Los métodos de muestreo no isocinéticos como aquellos que implican el uso de un muestreador puntual automatizado, generalmente no dan como resultado una muestra promedio de la descarga, a menos que la corriente esté completamente mezclada lateralmente

y verticalmente. Así, los resultados analíticos, no se pueden utilizar para calcular directamente las descargas de analitos.

En la Figura 15 se resume los métodos que se utilizan para la recolección de las muestras de agua en corrientes. Los sitios de agua corriente pueden referirse a arroyos (rápidos o lentos, intermitentes, efímeros o perennes), canales, zanjas y canales de todos los tamaños y formas, o cualquier otra característica de la superficie en la que el agua se mueve unidireccionalmente. Todos o parte de embalses y estuarios que fluyen unidireccionalmente se consideran agua corriente.

La Figura 16 muestra las diferencias entre los métodos isocinéticos para la recolección de muestras de agua en afluentes.

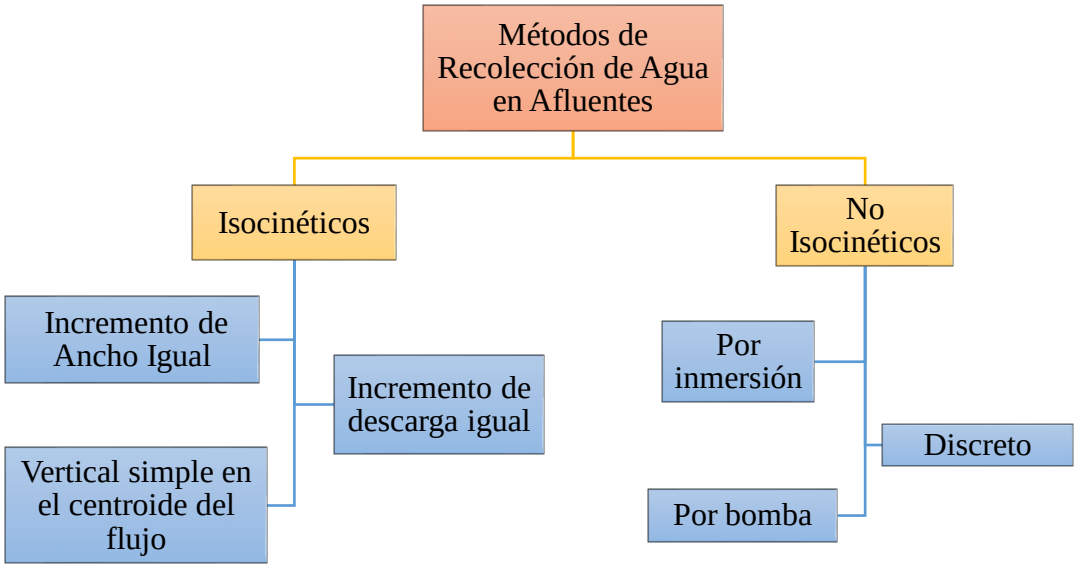


Figura 15: Métodos de Recolección de agua en afluentes.

Fuente: (Servicio Geológico de EE.UU., 2006). Elaboración: El autor

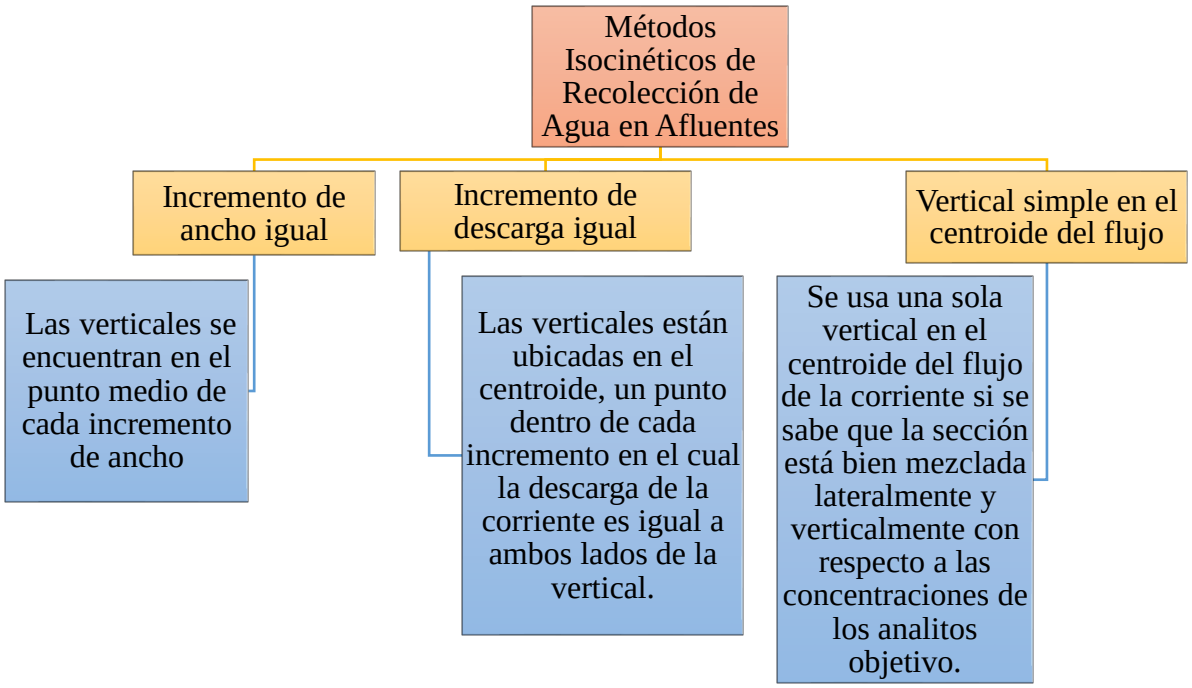


Figura 16: Métodos Isocinéticos de recolección de agua en afluentes.

Fuente: (Servicio Geológico de EE.UU., 2006). Elaboración: El autor

En la Tabla *10* y Tabla *11*, se describe cada uno de los métodos antes mencionados.

Tabla 10
Métodos isocinéticos de recolección de muestras de agua en afluentes.

Métodos de Recolección de Agua en Afluentes	
Métodos Isocinéticos	
Método de Incremento de Ancho Igual (EWI) por sus siglas en inglés	**Ventajas del método EWI**
➢ EWI se utiliza cuando se requiere información para determinar ubicaciones de muestreo verticales que no están disponibles para el método EDI y (o) la sección transversal de la corriente tiene relativamente uniforme profundidad y velocidad. ➢ La sección transversal del flujo se divide en un número de incrementos de	➢ El método EWI se puede aprender fácilmente y es implementado para muestrear pequeñas corrientes. Generalmente, se requiere menos tiempo en el sitio si en el método EWI se puede usar la información requerida para determinar ubicaciones de muestreo verticales que para el método EDI no está disponible.

igual ancho (Figura 17). Las muestras son recolectadas bajando y elevando un muestreador a través de la columna de agua en el centro de cada incremento. (Esta ubicación de muestreo se conoce como vertical).

Método de Incremento de descarga igual (Incremento de igual profundidad) (EDI) por sus siglas en inglés

- EDI se utiliza cuando la información requerida para determinar ubicaciones de muestreo verticales está disponible.

- El objetivo del método EDI es recolectar una muestra de descarga ponderada que representa todo el flujo que pasa por la sección transversal obteniendo una serie de muestras, cada una representando igual volúmenes de descarga de la corriente. El método EDI requiere que ese flujo en la sección transversal sea dividido en incrementos de igual descarga.

- Las muestras integradas en profundidad de igual volumen se recogen en el centroide de cada uno de los incrementos de descarga igual a lo largo de la sección transversal (Figura 18). Centroide se define como ese punto en el incremento en el cual la descarga es igual en ambos lados del punto.

Ventajas del método EDI

- Se necesitan menos incrementos, lo que resulta en un tiempo de muestreo reducido (siempre que las ubicaciones de muestras verticales puedan ser determinados rápidamente y los componentes son adecuadamente mezclados en el incremento).

- Muestreo durante etapas que cambian rápidamente se ve facilitado por el menor tiempo de muestreo.

- Las submuestras que componen un conjunto de muestras pueden ser analizadas por separado o puede ser proporcionalmente compuesta con el resto de la muestra transversal.

- La variación transversal en la constitución de la descarga se puede determinar si las botellas de la submuestra se analizan individualmente.

- Un mayor rango de velocidad y profundidad puede ser muestreado isocinéticamente en una sección transversal.

	➢ El volumen total de la muestra compuesta es conocido y se puede ajustar antes de comenzar el muestreo.
Método vertical simple en el centroide de flujo (VCF) por sus siglas en inglés	**Ventajas del método VCF**
➢ El método VCF para recolectar muestras de agua es idéntico al método EDI excepto que hay un centroide de flujo para la sección transversal de la corriente, por lo tanto, solo se muestrea una vertical.	➢ Las muestras pueden recogerse sólo en una vertical en el centroide del flujo si se sabe que la sección está bien mezclada lateralmente y verticalmente con respecto a las concentraciones de los analitos objetivo.

Fuente: (Servicio Geológico de EE.UU., 2006)

Tabla 11
Métodos No Isocinéticos de recolección de muestras agua en afluentes.

Métodos No Isocinéticos	
Método de muestreo por Inmersión	**Consideraciones del Método**
➢ El muestreo por inmersión implica sumergir una botella de boca estrecha en un cuerpo de agua.	
➢ Cuando se muestrea con una botella sostenida con la mano, manténgala en dirección contraria al flujo del río mientras la botella se llena. No se recomienda el muestreo por inmersión para un muestreo de descarga ponderada cuando es posible obtener una muestra isocinética integrada de profundidad.	➢ El error introducido por el muestreo por inmersión puede ser sustancial si los analitos objetivo se absorben de materiales en suspensión que no están distribuidos uniformemente a lo largo de la sección transversal.
➢ Si el agua es demasiado muy poco profunda o profunda se debe recolectar la muestra respectivamente, en el centroide de flujo o en múltiples ubicaciones a lo largo de una sección transversal.	➢ Se debe tener cuidado para evitar la recolección de partículas que son re-suspendidas como resultado de vadear o golpear el muestreador en el fondo del río.

Método de muestreo discreto (puntual)	Consideraciones del Método
El muestreo discreto (puntual) implica: ➢ Bajar un muestreador a una profundidad especificada y recolectar una muestra primero abriendo, luego cerrando el muestreador, ó ➢ Usar un muestreador de una etapa, que se llena cuando la etapa de flujo se eleva a una altura predeterminada.	➢ Las muestras se pueden recoger en el centroide de flujo o en múltiples verticales y a profundidades seleccionadas a lo largo de la sección transversal.
Método de muestreo por bomba. ➢ El muestreo por bombas involucra sistemas de succión o de bombas sumergibles diseñados para recolectar muestras para la calidad del agua. ➢ Los muestreadores de bombas portátiles generalmente se usan para recoger una muestra en un punto bajando la bomba a una profundidad seleccionada. Se debe consultar las instrucciones del fabricante para conocer las capacidades de elevación de otros tipos de muestreadores de bomba	**Consideraciones del Método** ➢ Los muestreadores de bomba generalmente no se usan para recolectar muestras isocinéticas debido a la dificultad de controlar la velocidad de entrada de la muestra a través de la toma de muestra, en relación con el caudal y la dirección de partículas suspendidas en la corriente. ➢ Una bomba portátil también se puede utilizar para recoger una muestra no isocinética integrada en profundidad por bombeo continuo a una tasa constante a medida que se baja la entrada a través de la vertical

Fuente. (Servicio Geológico de EE.UU., 2006)

A continuación, se muestra algunas figuras de los métodos de recolección:

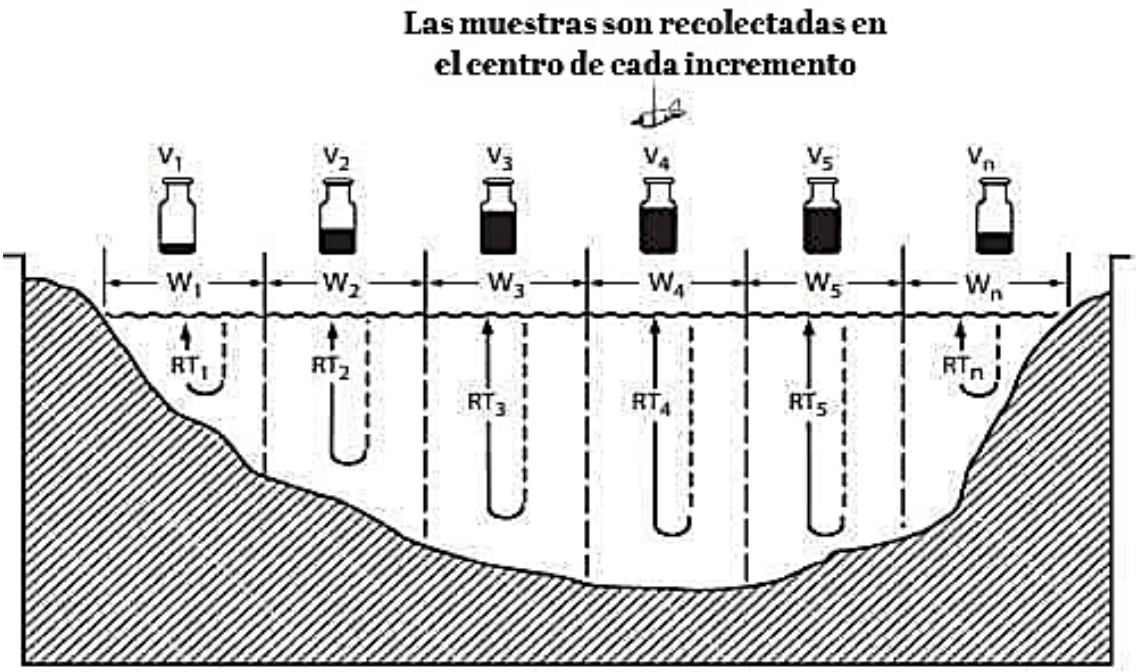


Figura 17: Método de incremento de igual ancho para la recolección de muestras de agua.

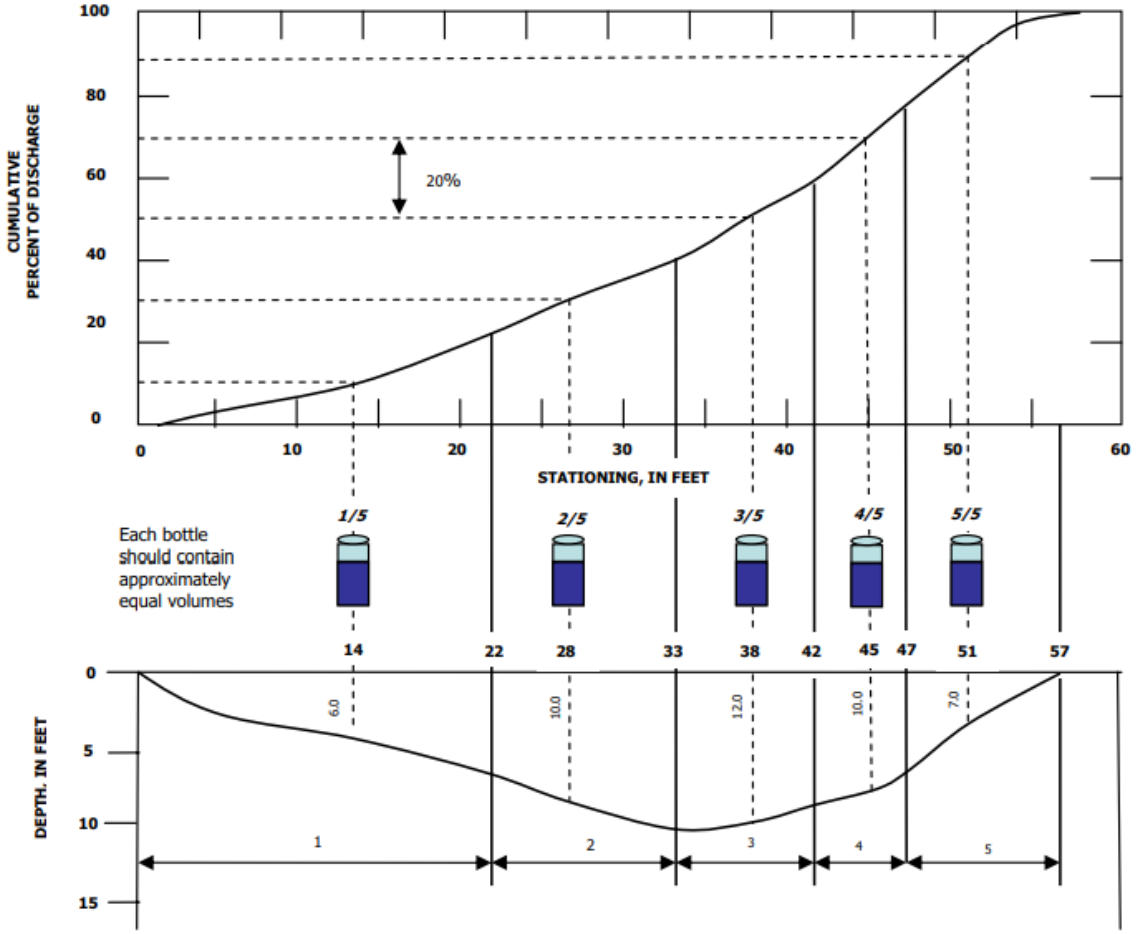
Fuente: (Servicio Geológico de EE.UU., 2006)

Explicación:
RT: TASA DE FLUJO (la velocidad de flujo en cada vertical de muestreo es igual).

W: ANCHO (el ancho de cada incremento es igual)

V: EL VOLUMEN RECOLECTADO EN CADA VERTICAL ES PROPORCIONAL AL ANCHO DE CADA INCREMENTO.

MUESTREO VERTICAL DE CADA INCREMENTO DE IGUAL ANCHO (MUESTRAS RECOLECTADAS) La velocidad vertical de flujo relativa al volumen de la muestra es proporcional a la descarga de corriente de cada incremento.



Sampling vertical/ bottle number	Percent discharge	Increment centroid from left edge of water, in feet	Increment depth, in feet	Mean velocity, in feet per second	Transit rate to give 800 milliliters, in feet per second
1/5	20	14	6	2.5	0.2
2/5	20	28	10	3.0	0.4
3/5	20	38	12	3.1	0.5
4/5	20	45	10	6.1	0.8
5/5	20	51	7	4.8	0.5

Figura 18: Método de incremento de descarga igual para la recolección de muestras de agua.

Fuente: (Servicio Geológico de EE.UU., 2006)

6.2 Propuesta de diseño

Para el diseño del sistema semiautomático de recolección de muestras de agua en afluentes, se consultó sobre muestreadores existentes en el mercado, se analizó su funcionamiento para obtener la idea más factible, bajo criterios de costo, tamaño, simplicidad de diseño, manufactura, entre otros. Así mismo se consultó las normativas vigentes en el país respecto a estos sistemas semiautomáticos, para cumplir con los criterios técnicos del proceso de recolección de las muestras de agua.

Para cumplir con su objetivo, se propone que el sistema de recolección, ejecute lo siguiente, de acuerdo a Norma INEN 2176:

- ✓ Recolección de una muestra simple de 0,5 litros.
- ✓ Recolección de cuatro muestras simples, 0,5 litros cada una, dando un volumen total de 2 litros para una muestra compuesta.

Considerando los modelos de muestreadores existentes en el mercado, se definió que la mejor opción es un mecanismo de recolección del tipo tiempo dependiente por su simplicidad de trabajo, que constará de tres módulos o compartimentos, como se muestra en la Figura 22, cuya carga y descarga de las botellas se realizará de forma manual. El prototipo propuesto está conformado por un conjunto de sistemas que cumplirán con una función específica como se describe en la Tabla *12*.

El módulo 1 (Figura 19) estará conformado por el cilindro base para las botellas, dentro del cual estará alojado el sistema de posicionamiento de las botellas, (también contendrá hielo como sistema de enfriamiento) y el cilindro exterior (dentro del cual estará el cilindro base para las botellas), que contendrá aislante para reducir las pérdidas por transferencia de calor.

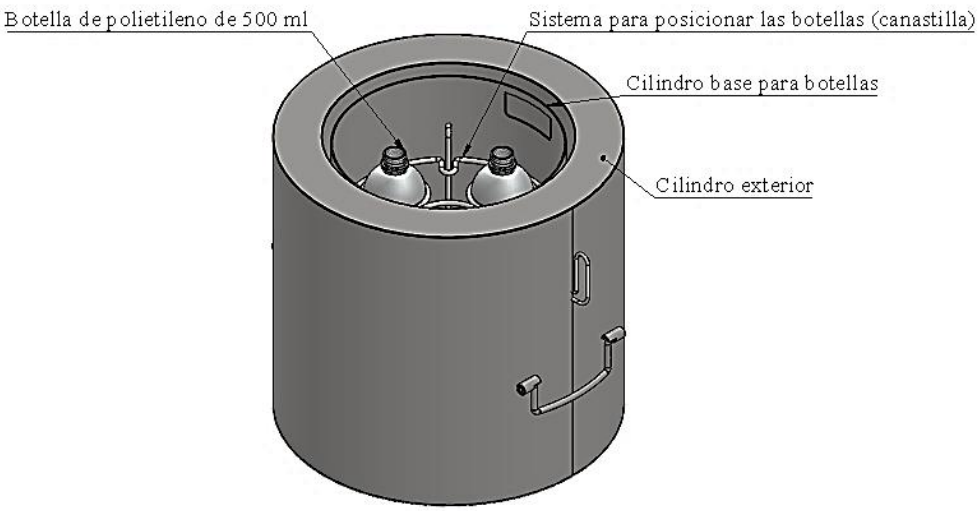


Figura 19: Módulo 1 del muestreador

Fuente: El autor

En el módulo 2 (Figura 20) estará alojado el sistema hidráulico para bombear el agua desde la corriente y conjuntamente con el sistema de posicionamiento de la manguera permitirá el llenado de las botellas. En este módulo también estará la fuente de poder que convierta la corriente AC en DC y el sistema de purgado de la manguera de aspiración que permitirá recibir agua fresca en cada toma de muestras.

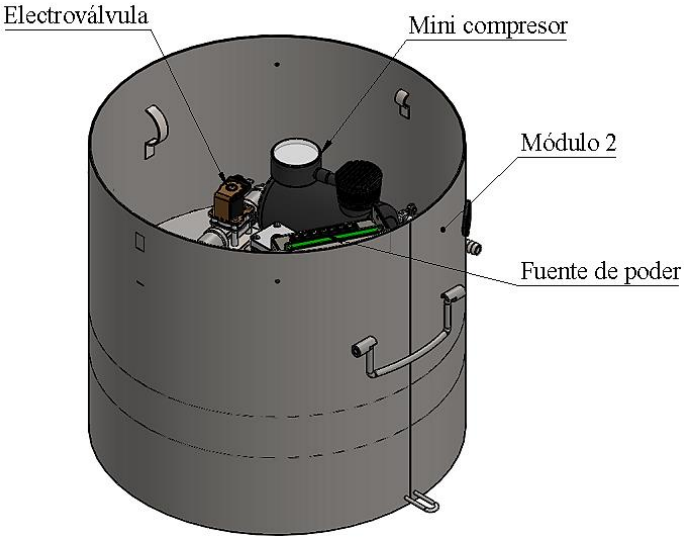


Figura 20: Módulo 2

Fuente: El autor

En el módulo 3 (Figura 21) estará la tarjeta de control (Arduino) y sus periféricos (pantalla LCD, módulo relé, etc.) que accione los elementos necesarios para el muestreo.

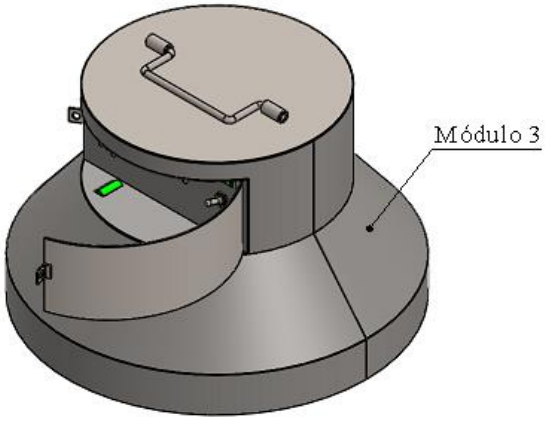


Figura 21: Módulo 3

Fuente: El autor

En la Figura 22 se representa el muestreador ensamblado.

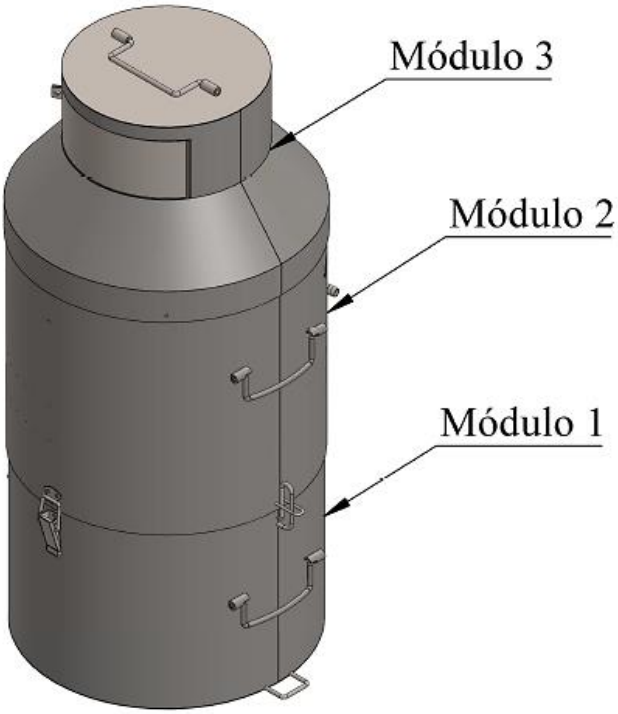


Figura 22: Vista isométrica del diseño 3D del muestreador.

Fuente: El autor

Tabla 12
Sistemas que componen el muestreador.

Etapa	Sistema	Descripción
Abastecimiento de botellas	Posicionamiento de botellas	Consiste en cargar de forma manual las botellas en una canastilla acoplada al cilindro base, que permite que los envases queden correctamente posicionados para el llenado.
Abastecimiento de hielo	Enfriamiento de las muestras	Consiste en cargar hielo en forma manual, en el cilindro base contenedor de las botellas para su enfriamiento.
Llenado de las botellas	Bombeo	Consiste en conectar de forma manual, la manguera y el filtro a la entrada de aspiración de la bomba para luego recolectar el volumen de la muestra.
	Posicionamiento de la manguera	Permitirá posicionar la manguera en dirección de la boca de la botella para su llenado.
Purgado de línea de abastecimiento de agua	Purgado de la manguera de aspiración	Consiste en purgar automáticamente la manguera de aspiración para recibir agua fresca.
Control	Control semi automático	Consiste en seleccionar el tipo de muestra que se va a recolectar para que la tarjeta de control ejecute la programación y apague o encienda los elementos necesarios para el proceso.

Fuente: El autor

6.3 Diseño del sistema de posicionamiento de las botellas

Para este sistema se implementará una estructura de varilla redonda de acero inoxidable AISI 430, donde se colocarán las cuatro botellas a ser llenadas distribuidas en forma circular separadas 90° entre sí, como se muestra en la Figura 23.

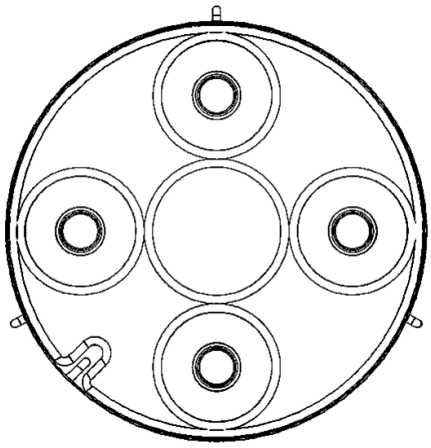


Figura 23: Esquema de la estructura empleada para posicionar las botellas (vista superior).

Fuente: El autor

Las botellas se alojarán boca arriba (Figura 24) para permitir el llenado con mayor facilidad y evitar el vuelco de las mismas.

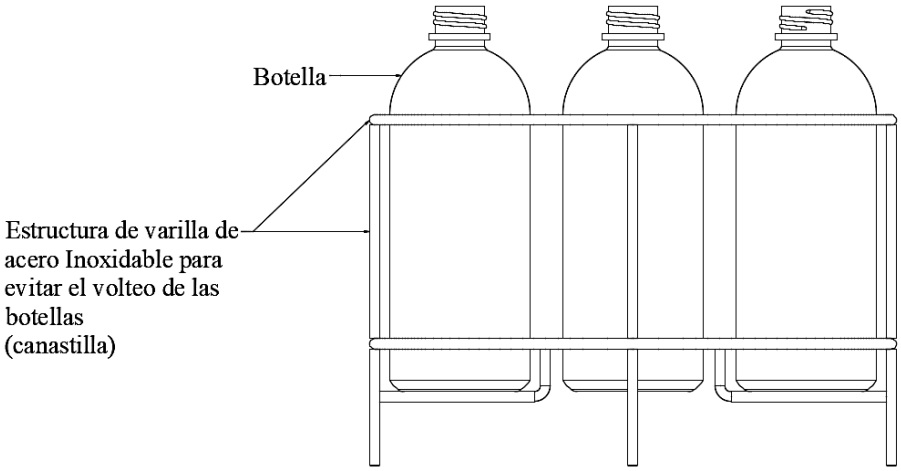


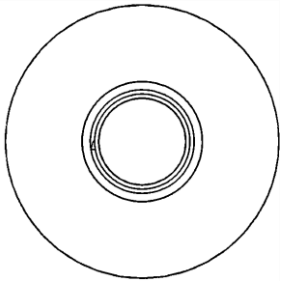
Figura 24: Esquema de la estructura empleada para posicionar las botellas (vista frontal).

Fuente: El autor

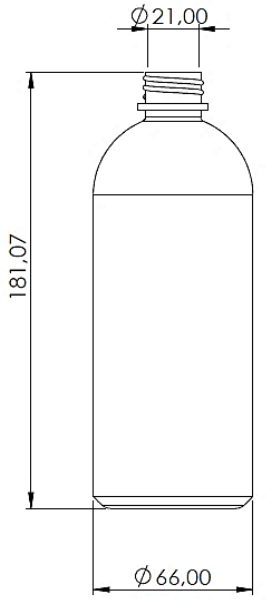
6.3.1 Dimensionamiento de la estructura para el posicionamiento de las botellas

El diseño de la canastilla para la sujeción de botellas se centrará en obtener una estructura que posicione en forma estable las botellas, dejando la mayor parte de su superficie libre, para que puedan ser enfriadas.

La canastilla y sus dimensiones se basarán en las características geométricas de las botellas de polietileno de 500 ml de capacidad (Figura 25) existentes en el mercado de la localidad.



a)



b)

Figura 25: Botella de polietileno de 0,5 litros de capacidad a) vista superior; b) vista frontal.

Fuente: Tecnoaustral Loja. Elaboración: El autor

La canastilla se construirá de varilla redonda de acero inoxidable de 3/16” (4,8 mm) de diámetro, en la parte superior e inferior habrá cuatro anillos, rodeados exteriormente por otro anillo (Figura 26) soldados entre sí, cuyo objetivo principal será sujetar las botellas y ofrecerles estabilidad. Esta estructura irá montada sobre un cilindro, donde se colocará hielo para enfriar las botellas con las muestras de agua (ver en ANEXO 15 los planos de esta pieza para más detalle).

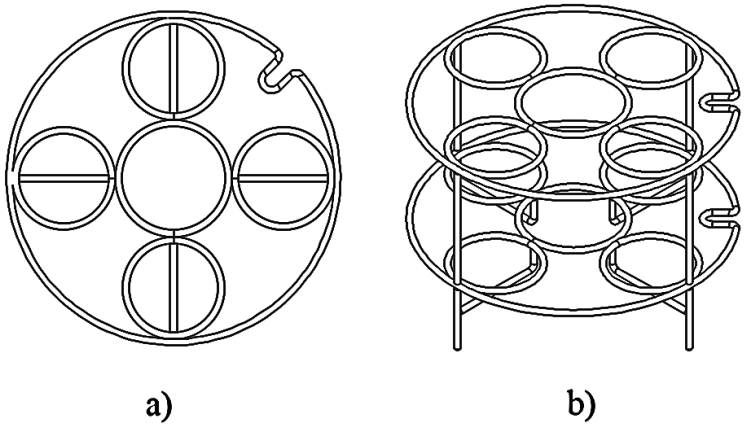


Figura 26: Canastilla para posicionar las botellas a) vista superior; b) vista isométrica.

Fuente: El autor

En la Figura 27 se muestra la canastilla y las botellas de 500 ml colocadas en su respectiva posición.

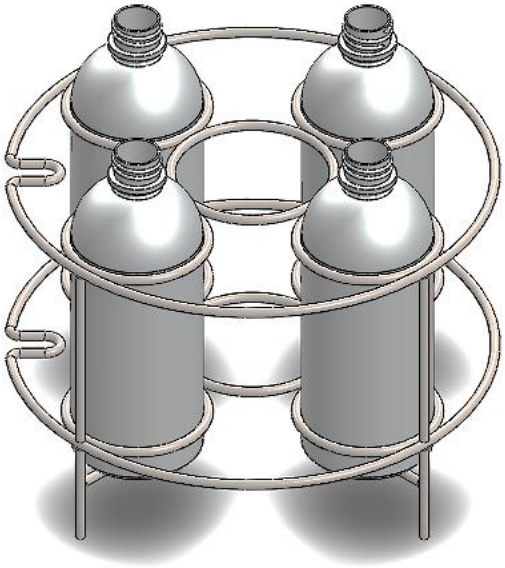


Figura 27: Botellas de polietileno de 500 ml colocadas en la canastilla (vista isométrica).

Fuente: El autor

Para la recolección de muestras simples de 1000 ml se ha diseñado otra canastilla (Figura 28 b) basada en las características geométricas de las botellas de esa capacidad disponibles en el mercado local (Figura 28 a). Cabe destacar que esta canastilla y la de las botellas de 500 ml serán desmontables y se las podrá intercambiar fácilmente.

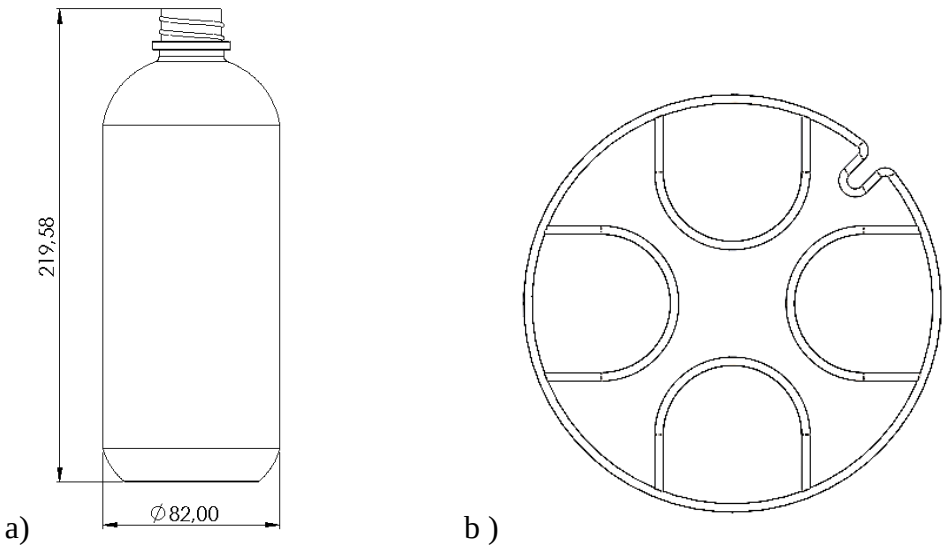


Figura 28: a) Botella de polietileno de 1000 ml b) Canastilla para botella de 1000 ml (vista superior)

Fuente: Tecnoaustral Loja. Elaboración: El autor

En la Figura 29 se muestra la canastilla y la botella de 1000 ml colocada en su respectiva posición.

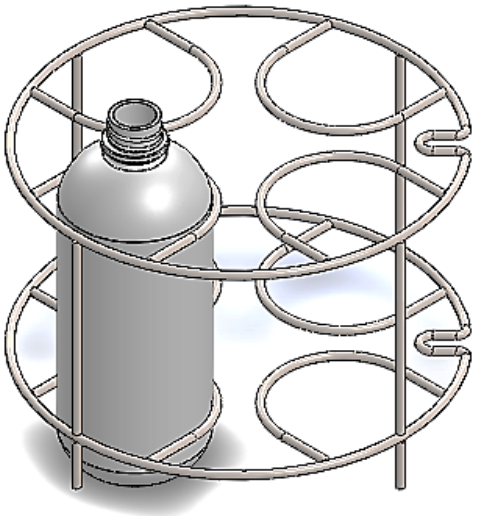


Figura 29: Botella de polietileno de 1000 ml colocada en la canastilla (vista isométrica).

Fuente: El autor

6.4 Diseño del cilindro base para las botellas

El cilindro base servirá para colocar la canastilla, las botellas y el hielo para el enfriamiento de las muestras, se rolará para obtener su forma circular y se utilizará plancha de acero inoxidable AISI 430 de 1mm, espesor necesario capaz de resistir la soldadura por arco eléctrico

con la que se unirá, se propone un diámetro interior mínimo de 255 mm como se muestra en la Figura 30.

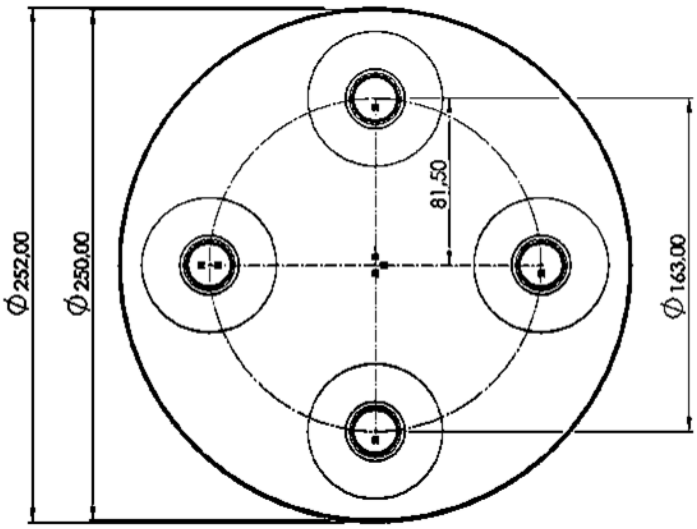
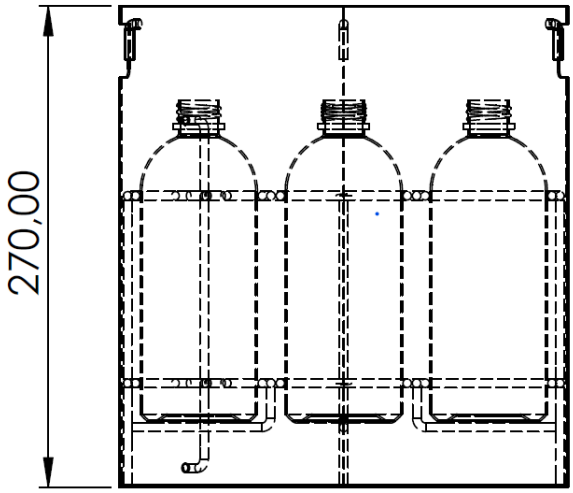


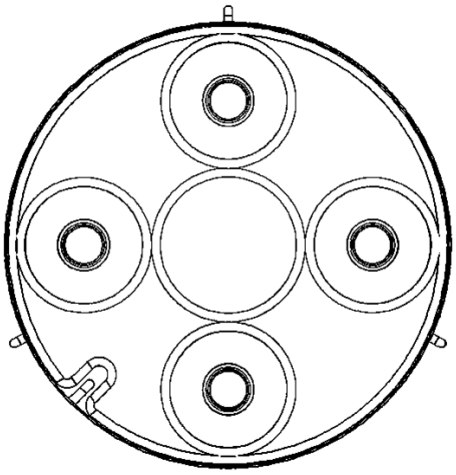
Figura 30: Diámetro para el cilindro base donde se colocará la canastilla y las botellas.

Fuente: El autor

La altura del cilindro base se propone de 270 mm (Figura 31a) para que el mecanismo de llenado de las mismas pueda entrar sin dificultad.



a)



b)

Figura 31: Altura de cilindro base, con la canastilla y las botellas a) vista posterior b) vista superior.

Fuente: El autor

El cilindro base se colocará dentro de otro cilindro (cilindro externo) que contendrá aislante térmico para mantener una temperatura adecuada de las muestras de agua recolectadas. Se adoptó una diferencia de 20 mm entre el diámetro del cilindro base y la pared interior del cilindro para el aislante.

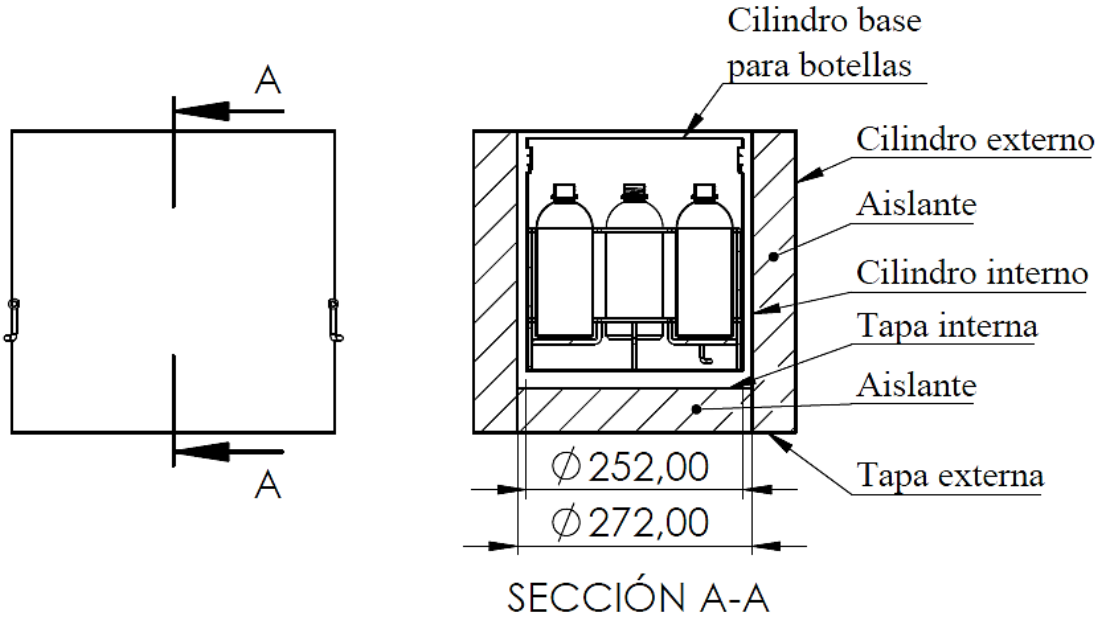


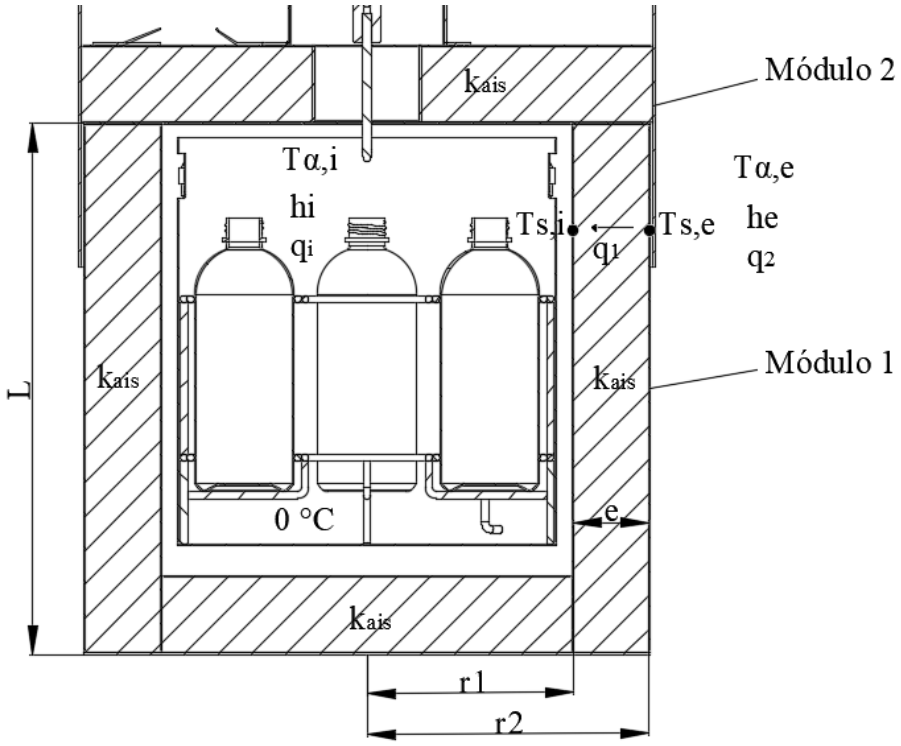
Figura 32: Vista de sección del módulo 1 donde se colocarán las botellas.

Fuente: El autor

Para determinar el espesor del aislante, se realiza los cálculos necesarios de transferencia de calor, teniendo en cuenta los datos de la Figura 32. Para este procedimiento se denomina r1 al radio del cilindro interno y r2 al radio del cilindro externo.

6.4.1 Cálculos de transferencia de calor

Según los planos preliminares del diseño, el módulo 1 donde se guardarán las muestras se expone en vista de sección en la Figura 33 a), en la misma se indica los componentes para realizar un análisis térmico del módulo 1 y determinar el espesor del aislante para disminuir las pérdidas por transferencia de calor:



a)

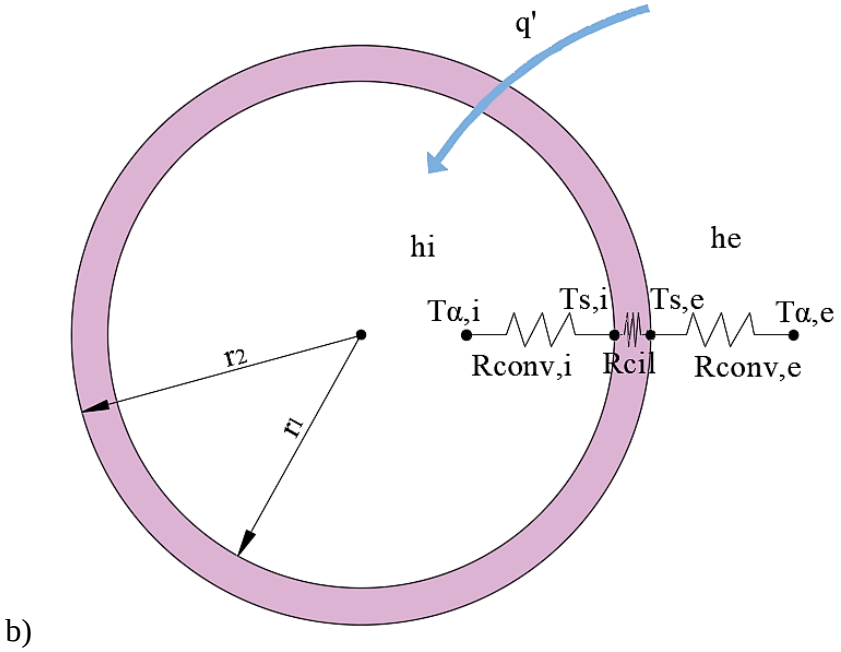


Figura 33: a) Esquema físico del cilindro base (vista de sección lateral). b) red de resistencias térmicas para el cilindro sujeto a convección tanto en el lado interior como en el exterior.

Fuente: El autor

Por el esquema antes expuesto, el circuito térmico equivalente para el cilindro externo del módulo 1 será:

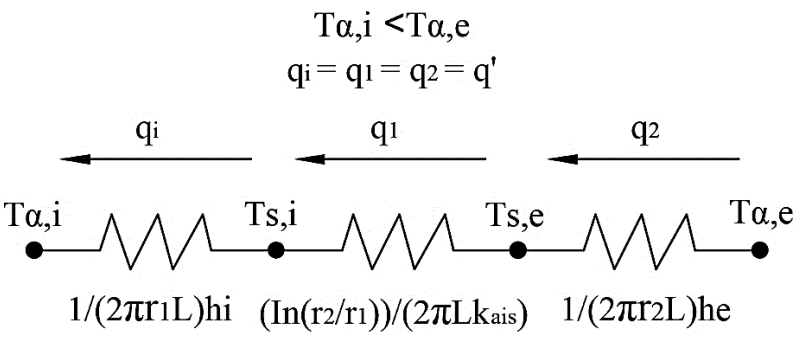


Figura 34: Circuito térmico equivalente.

Fuente: El autor

En la Figura 34 se da la red de resistencias térmicas para este caso. Debido a la diferencia entre la temperatura ambiental (25°C) y la temperatura dentro del muestreador (3°C), existe un flujo de calor del exterior hacia el interior a través de las paredes del módulo 1, en la dirección que se muestra en la Figura 34. Dado que el radio interior del cilindro externo es r_1 y el radio

exterior es r_2 y L la altura del cilindro, las áreas de las superficies interior y exterior del mismo se determinan mediante la ecuación (17):

$$A_1 = 2\pi r_1 L$$
$$A_2 = 2\pi r_2 L$$

Asimismo, el coeficiente de transferencia de calor por convección interno, despejando de la Ecuación (7) se expresa como:

$$h_i = \frac{\dot{q}_i}{A_1(T_{s,i} - T_{\propto,i})}$$

Sustituyendo A_1 se tiene:

$$h_i = \frac{\dot{q}_i}{(2\pi r_1 L)(T_{s,i} - T_{\propto,i})} \tag{72}$$

De la misma manera el coeficiente de convección externo, sustituyendo A_2 se expresa por:

$$h_e = \frac{\dot{q}_2}{(2\pi r_2 L)(T_{\propto,e} - T_{s,e})} \tag{73}$$

Pero no se conoce la temperatura $T_{s,i}$ de la superficie interior del tanque ni la temperatura $T_{s,e}$ en el exterior del tanque y, en consecuencia, no se puede calcular h_i ni, h_e. Por lo tanto, se necesita adoptar valores para $T_{s,i}$ y $T_{s,e}$ y así hallar el valor de los coeficientes de convección.

Se adopta la metodología de la Figura 35 para realizar los cálculos, cabe destacar que se realizará variaciones de $T_{s,i}$ y $T_{s,e}$ hasta alcanzar un espesor (e) máximo del aislante de 5 cm, puesto que un espesor pequeño producirá altas pérdidas de calor y se necesitará mayor cantidad de hielo para mantener la temperatura requerida en el interior del muestreador, por otro lado, un espesor demasiado grueso hará que el muestreador sea más voluminoso y más pesado, y se requiere según la Norma NTE INEN 2176:2013 que un equipo de muestreo automático debe ser ligero.

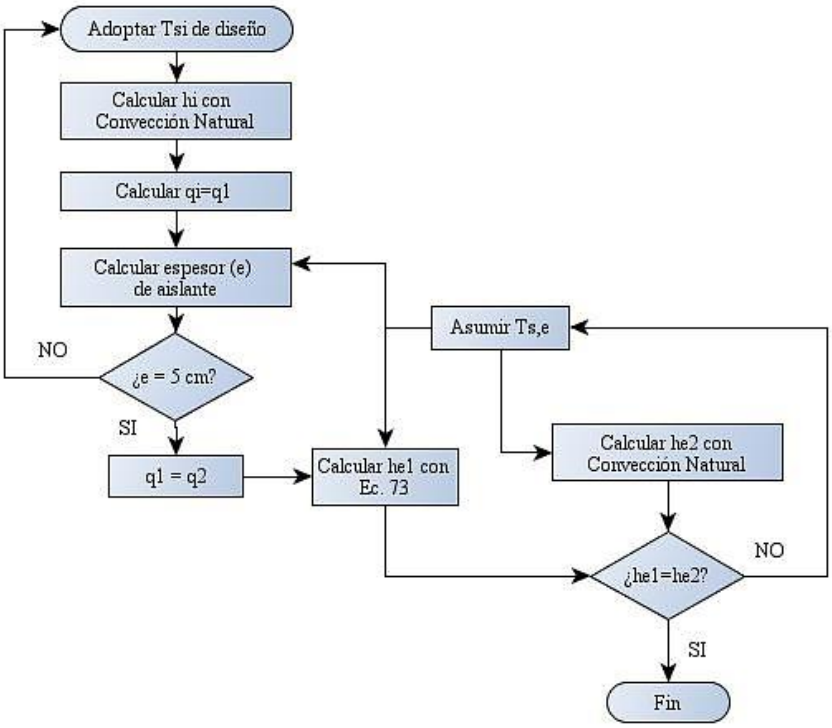


Figura 35: Metodología para calcular el coeficiente de convección.

Fuente: El autor

Consideraciones: 1. Se considera que el cilindro interno y externo (ver Figura 32) del módulo 1 es de pared delgada 2. La conductividad térmica es constante. 3. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que se tiene simetría térmica con respecto a la línea central. 3.El aire es un gas ideal. 3. Los efectos de la radiación son insignificantes.4. Para el diseño se considera como referencia los más altos valores de temperatura ambiente ($T_{\propto,e}$), que, en la provincia de Loja, se localizan en el cantón Zapotillo (parroquias Cazaderos, Limones y Zapotillo) con 24,61°C. Redondeando este valor, se trabajará con 25°C. 5. Según la Norma NTE INEN 2176 la temperatura del ambiente interno deberá ser de 4°C, por lo que para los cálculos del diseño de adoptará 1°C como un sustraendo de seguridad, es decir se tomará como temperatura ambiente interna $T_{\propto,i} = 3$°C. 6. La forma de transferencia de calor tanto de la parte interna como de la parte externa hacia las paredes del muestreador es por convección libre (natural).

Aplicando la metodología de flujo de cálculo descrita en la Figura 35, se realiza la primera iteración.

a) Se adopta una $T_{s,i}$ (temperatura de la superficie interna del cilindro) de diseño de 16°C. Siguiendo la metodología de la Figura 35, luego se realiza:

b) Cálculo del coeficiente de convección natural interno h_i por convección natural.

Se representa el esquema físico con sus dimensiones en la siguiente figura:

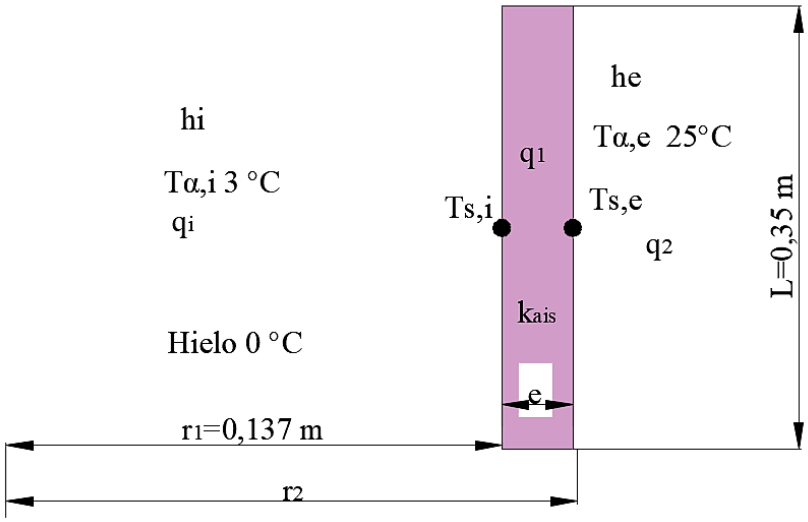


Figura 36: Esquema físico del módulo 1, vista lateral.

Fuente: El autor

Por lo que el esquema térmico se muestra en la Figura 37:

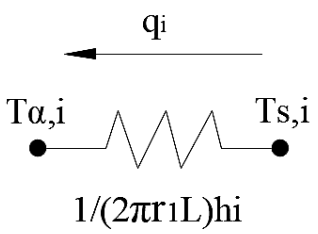


Figura 37:Resistencia térmica para la convección interna.

Fuente: El autor

Para determinar h_i por convección natural, primeramente, se necesita calcular el número de Rayleigh, el número de Grashof y el número de Nusselt, para finalmente encontrar el coeficiente de transferencia de calor por convección interna (h_i) y la razón de la transferencia de calor por convección natural interna (q_i).

Se tiene los siguientes datos:

$T_{s,i} = 16°C$ $\quad T_{\alpha,i} = 3°C$ $\quad T_{\propto,e} = 25°C$

$k_{ais} = 0{,}039\ W/m.K$ (fibra de vidrio) (ver ANEXO 2).

Siendo:

$T_{s,i}$ = temperatura en la superficie interna del cilindro.

$T_{\alpha,i}$ = temperatura del ambiente dentro del cilindro.

$T_{\propto,e}$ = la temperatura del ambiente externo.

Con los datos anteriores, se toma las propiedades del aire a la temperatura promedio (T_f) entre la superficie y el ambiente interno:

$$T_f = \frac{T_{s,i} + T_{\alpha,i}}{2}$$

$$T_f = \frac{(16+3)°C}{2} = 9{,}5°C = 282{,}5\ K$$

En el ANEXO 1, no existen datos a esa temperatura (9,5°C), por lo tanto, se interpola para encontrar los valores y se tiene:

$\mathrm{k} = 0{,}02436\ W/m\ K$

$\nu = 1{,}422\ \times 10^{-5} m^2/s$

$Pr = 0{,}7337$

Seguidamente, se calcula el Número de Grashof mediante la Ecuación (19):

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_{s,i} - T_{\propto,i})L^3}{\nu^2}$$

Donde β es el coeficiente de expansión volumétrica y se toma T_f en grados kelvin sustituyendo valores se tiene:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{282{,}5}$$

$$Gr_L = \frac{(9{,}81m/s^2)(\frac{1}{282{,}5})(16°C - 3°C)(0{,}35m)^3}{(1{,}422 \times 10^{-5}m^2/s)^2}$$

$$Gr_L = 95719153{,}18$$

Se calcula el número de Rayleigh haciendo uso de la Ecuación (20):

$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$ ó $Ra_L = Gr_L Pr$

$$Ra_L = (95719153{,}18)(0{,}7337)$$

$$Ra_L = 70229142{,}69$$

Como $Ra_L < 10^9\ flujo\ es\ laminar$

Se compara si el espesor de la capa límite, δ, es mucho menor que el diámetro del cilindro, condición que viene dada por:

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr_L^{1/4}}$$

$$\frac{0{,}274}{0{,}350} \geq \frac{35}{95719153{,}18^{1/4}}$$

$$0{,}78 \geq 0{,}35$$

Entonces el cilindro se puede tratar como una pared vertical.

Puesto que si se cumple la condición anterior se aplica la correlación de Churchill y Chu para la convección libre sobre una superficie vertical a temperatura constante (Ecuación (21)) aplicable para todo Ra_L:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = \left\{0{,}825 + \frac{0{,}387Ra_L^{1/6}}{[1 + (0{,}492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2$$

Con las propiedades calculadas a T_f, se sustituye valores y se tiene:

$$\overline{Nu}_L = \left\{0{,}825 + \frac{0{,}387(70229142{,}69)^{1/6}}{[1 + (0{,}492/0{,}7337)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2$$

$$\overline{Nu}_L = 55{,}25$$

Como $\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k}$ se calcula en coeficiente promedio de convección interna ($\bar{h}_i$).

$$\bar{h}_i = \frac{\overline{Nu}_L k_{aire}}{L}$$

$$\bar{h}_i = \frac{55{,}25(0{,}02436\ W/m\ K\ )}{0{,}35\ m}$$

$$\bar{h}_i = 3{,}85\ W/m^2K$$

Siguiendo con la metodología se calcula la transferencia de calor que habrá en el interior del cilindro.

De la ecuación (72), se despeja $\dot{q}_i$:

$$\dot{q}_i = h_i(2\pi r_1 L)(T_{s,i} - T_{\propto,i})$$

También se puede calcular $\dot{q}_i$ en función de la resistencia de convección interna:

$$\dot{q}_i = \frac{T_{s,i} - T_{\propto,i}}{\frac{1}{R_{conv,i}}} = \frac{T_{s,i} - T_{\propto,i}}{\frac{1}{A\bar{h}_i}} = \frac{T_{s,i} - T_{\propto,i}}{\frac{1}{(2\pi r_1 L)\bar{h}_i}}$$

Por lo que sustituyendo valores se encuentra $\dot{q}_i$:

$$\dot{q}_i = \frac{(16-3)°C}{\frac{1}{2\pi(0{,}137m)(0{,}35m)(3{,}85W/m^2K)}}$$

$$\dot{q}_i = 15{,}1\ W$$

c) Siguiendo con la metodología se tiene $\dot{q}_i = \dot{q}_1 = 15{,}1\ W$

d) En el siguiente paso, según la metodología, se debe calcular el espesor del aislante, para lo cual se tendrá que asumir un valor para $T_{s,e}$ el cual, para los cálculos se adopta como $T_{s,e} = 23°C$ con el mismo $T_{s,i} = 16°C$ y se tiene la siguiente red de resistencias térmicas (Figura 38):

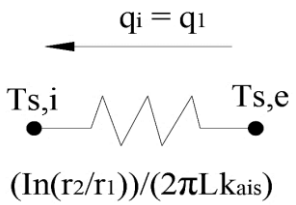


Figura 38: Resistencia térmica para calcular el espesor de aislante.

Fuente: El autor

Entonces, de la ecuación de conducción de calor, considerando $\dot{q}_i = \dot{q}_1$ se despeja r_2 para hallar el espesor necesario del aislante.

$$\dot{q}_1 = \frac{T_{s,e-}T_{s,i}}{R_{cil}} = \frac{T_{s,e-}T_{s,i}}{\frac{In(r_2/r_1)}{2\pi L k_{ais}}}$$

Despejando se tiene:

$$In(r_2/r_1) = \frac{2\pi L k_{ais}(T_{s,e-}T_{s,i})}{\dot{q}_1}$$

Sustituyendo valores:

$$In(r_2) - In(r_1) = \frac{2\pi(0{,}350m)(0{,}039W/m\,K)(23°C - 16°C)}{15{,}1W}$$

$$In(r_2) = 0{,}0398 + In(0{,}137)$$

$$In(r_2) = -1{,}948$$

Entonces:

$$r_2 = 0{,}1425\ m = 142{,}5\ mm$$

El espesor de la capa de aislante será:

$$e_{ais} = r_2 - r_1$$

$$e_{ais} = 142{,}5mm - 137mm$$

$$e_{ais} = 5{,}5\ mm = 0{,}55\ cm$$

Por lo que no se cumple lo que se plantea en la metodología: $e_{ais} \neq 5\ cm$

Entonces se procede a variar el Tsi de diseño, manteniendo el $T_{s,e} = 23°C$ a para determinar a cual es la $T_{s,i}$ a la cual se obtiene el espesor propuesto = 5cm.

Para realizar las demás iteraciones, se ha elaborado un documento en Excel para repetir el procedimiento anterior y se obtiene la siguiente tabla resumida con los siguientes resultados:

Tabla 13
Resumen de las iteraciones para determinar el espesor del aislante.

						Temp prom.					
Nº	T∞int (ºC)	Ts,i(ºC)	T∞ext (ºC)	Ts,ext (ºC)	k ais (W/m.K	Tf	hi (W/m2 K)	qi (W)	r2 (m)	Espesor de aislante	
										e(m)	e(cm)
1	3	16	25	23	0,039	9,5	3,84	15,05	0,143	0,006	0,557
2	3	15	25	23	0,039	9	3,76	13,58	0,144	0,007	0,710
3	3	14	25	23	0,039	8,5	3,66	12,14	0,146	0,009	0,899
4	3	13	25	23	0,039	8	3,57	10,74	0,148	0,011	1,139
5	3	12	25	23	0,039	7,5	3,46	9,38	0,151	0,014	1,450
6	3	11	25	23	0,039	7	3,34	8,06	0,156	0,019	1,866
7	3	10	25	23	0,039	6,5	3,22	6,79	0,161	0,024	2,446
8	3	9	25	23	0,039	6	3,08	5,57	0,170	0,033	3,299
9	3	8	25	23	0,039	5,5	2,92	4,40	0,184	0,047	4,651
10	3	7,8	25	23	0,039	5,4	2,89	4,18	0,187	0,050	5,019
11	3	7,75	25	23	0,039	5,38	2,88	4,12	0,188	0,051	5,118
12	3	7,7	25	23	0,039	5,35	2,87	4,06	0,189	0,052	5,220
13	3	7,6	25	23	0,039	5,3	2,85	3,95	0,191	0,054	5,434
14	3	7	25	23	0,039	5	2,74	3,30	0,208	0,071	7,057
15	3	6	25	23	0,039	4,5	2,52	2,28	0,260	0,123	12,258

Fuente: El autor

Por lo que finalmente se adopta para un espesor del aislante de 5,019 cm ≈ 5 cm y r2=0,187m =187 mm con $T_{s,i} = 7{,}8°C$

Para un coeficiente interno de transferencia de calor por convección de $\bar{h}_i = 2{,}89\ W/m^2K$ y un flujo de calor de $\dot{q}_i = 4{,}18\ W$.

Se calcula el error para el espesor del aislante seleccionado:

5cm---------100%

0,019 cm---------x

Error: 0,38%

El coeficiente hallado $\bar{h}_i$, está dentro del rango de valores recomendados según la literatura (Convección libre de gases: h = 2 a 5 W/m2°C).

e) Siguiendo con la metodología, se tiene que $\dot{q}_i = \dot{q}_1 = \dot{q}_2$ puesto que las resistencias térmicas están en serie,es decir:

$$\dot{q}_1 = \dot{q}_2 = 4{,}18\ W$$

El siguiente paso es determinar el coeficiente externo de transferencia de calor por convección.

Como se indica en el diagrama de flujo, para determinar dicho coeficiente, primeramente, se adopta que $\dot{q}_i = \dot{q}_1$ y que $\dot{q}_1 = \dot{q}_2 = 4{,}18\ W$, para determinar la temperatura aproximada real de la superficie exterior del muestreador. Para encontrar el coeficiente real $\bar{h}_e$ se calcula primeramente por la Ecuación (73) de $\dot{q}_2$ y se obtiene $\bar{h}_{e1}$ luego se lo calcula por convección natural y se obtiene $\bar{h}_{e2}$, se realiza la comparación entre $\bar{h}_{e1}$ y $\bar{h}_{e2}$ si son iguales, entonces $T_{s,e}$ adoptado es correcto, de lo contrario se variará $T_{s,e}$ hasta que $\bar{h}_{e1} \approx \bar{h}_{e2}$ entonces este valor será $\bar{h}_e$ real. Se empieza con $T_{s,e} = 23°C$ adopdtado anteriormente según la metodología a seguir:

Se tiene el siguiente esquema térmico:

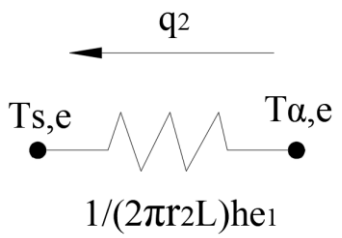


Figura 39: Resistencia térmica para calcular el coeficiente de convección externo.

Fuente: El autor

Donde $\bar{h}_{e1}$ es el coeficiente de convección externo, calculado por la Ecuación (73) de $\dot{q}_2$ obtenida del diagrama de resistencias:

$$\bar{h}_{e1} = \frac{\dot{q}_2}{2\pi r_2 L(T_{\propto,e} - T_{s,e})}$$

Entonces sustituyendo valores se tiene:

$$\bar{h}_{e1} = \frac{4{,}18\ W}{2\pi(0{,}187m)(0{,}35m)(25°C - 23°C)} = 5{,}08\ W/m^2K$$

f) Siguiendo el procedimiento de la metodología, se calcula este coeficiente externo $\bar{h}_{e2}$ por convección natural.

Para ello se tiene los siguientes datos:

$T_{s,e} = 23°C$ $\qquad$ $T_{\alpha,e} = 25°C$

$k_{ais} = 0{,}039\ W/m.K$ (fibra de vidrio)

Con los datos anteriores, se toma las propiedades del aire a la temperatura promedio:

$$T_f = \frac{T_{s,e} + T_{\alpha,e}}{2}$$

$$T_f = \frac{(23 + 25)°C}{2} = 24°C = 297\ K$$

En el ANEXO1, no existen datos a esa temperatura (24°C), por lo tanto, se interpola para encontrar los valores y se obtiene:

$k = 0{,}02544\ W/m.K$

$\nu = 1{,}5528\ \times 10^{-5}\ m^2/s$

$Pr = 0{,}7298$

Se calcula el Número de Grashof mediante la Ecuación (19):

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_{\propto,e} - T_{s,e})L^3}{\nu^2}$$

Donde β es el coeficiente de expansión volumétrica y se toma T_f en grados kelvin.

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{297}$$

$$Gr_L = \frac{(9{,}81m/s^2)(\frac{1}{297})(25°C - 23°C)(0{,}350m)^3}{(1{,}5528 \times 10^{-5}m^2/s)^2}$$

$$Gr_L = 11746693{,}63$$

Se calcula el número de Rayleigh haciendo uso de la Ecuación (20):

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_{s,e-}T_{\infty},e)L^3}{\nu\alpha} \quad \text{ó} \quad Ra_L = Gr_L Pr$$

$$Ra_L = (11746693{,}63)(0{,}7298)$$

$$Ra_L = 8572737$$

Como $Ra_L < 10^9\ flujo\ es\ laminar$

Se compara si el espesor de la capa límite, δ, es mucho menor que el diámetro del cilindro, condición que viene dada por:

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr_L^{1/4}}$$

$$\frac{0{,}374}{0{,}35} \geq \frac{35}{11746693{,}63^{1/4}}$$

$$1{,}06 \geq 0{,}597$$

Entonces el cilindro se puede tratar como una pared vertical.

Puesto que si se cumple la condición anterior se aplica la correlación de Churchill y Chu para la convección libre sobre una superficie vertical a temperatura constante aplicable para todo Ra_L (Ecuación (20)):

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = \left\{0{,}825 + \frac{0{,}387Ra_L^{1/6}}{[1+(0{,}492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2$$

Con las propiedades calculadas a T_f

$$\overline{Nu}_L = \left\{0{,}825 + \frac{0{,}387(8572737)^{1/6}}{[1+(0{,}492/0{,}7298)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2$$

$$\overline{Nu}_L = 29{,}98$$

Como $\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k}$ se calcula en coeficiente promedio de convección externa ($\bar{h}_{e2}$).

$$\bar{h}_{e2} = \frac{\overline{Nu}_L k_{aire}}{L} \bar{h}_{e2} = \frac{29{,}98(0{,}02544\ W/m.K)}{0{,}35m}$$

$$\bar{h}_{e2} = 2{,}18\ W/m^2K$$

Se compara los valores $\bar{h}_{e1} = 5{,}08\, W/m^2K$ y $\bar{h}_{e2} = 2{,}18\, W/m^2K$ obtenidos, entonces $\bar{h}_{e1} \neq \bar{h}_{e2}$.Puesto que no se cumple que $\bar{h}_{e1} \neq \bar{h}_{e2}$, aplicando la metodología planteada, se debe adoptar otro valor para de $T_{s,e}$, y se debe calcular $\bar{h}_{e1}$ con la Ecuación (73) y luego se calcula $\bar{h}_{e2}$ por convección natural (C.N). Se ha desarrollado un documento en Excel para realizar los cálculos según el procedimiento anterior para la convección natural y se obtiene la siguiente tabla de resumen del procedimiento:

Tabla 14
Resumen de las iteraciones para determinar el coeficiente de convección externo.

N°	T∞int (°C)	Asumir Ts,e(°C)	T∞ext (°C)	Temp prom. Tf (°C)	he2 (W/m2 K)
1	3	25	25	25	0,050
2	3	24	25	24,5	1,793
3	3	23	25	24	2,179
4	3	22	25	23,5	2,447
5	3	21,5	25	23,25	2,559
6	3	21,4	25	23,2	2,580
7	3	21,3	25	23,15	2,601
8	3	21,2	25	23,1	2,621
9	3	21,19	25	23,095	2,623
10	3	21,18	25	23,09	2,625
11	3	21,17	25	23,085	2,627
12	3	21,14	25	23,07	2,633
13	3	21,1	25	23,05	2,641
14	3	21	25	23	2,660
15	3	20,5	25	22,75	2,753
16	3	20	25	22,5	2,840
17	3	19	25	22	2,996
18	3	18	25	21,5	3,137
19	3	17	25	21	3,264
20	3	16	25	20,5	3,382
21	3	15	25	20	3,491

Fuente: El autor

Se procede a realizar iteraciones para determinar cuál es la temperatura aproximada de $T_{s,e}$ a la cual $\bar{h}_{e1} \approx \bar{h}_{e2}$ y se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 15:

Tabla 15
Resumen de las iteraciones para determinar la temperatura superficial externa del cilindro y el coeficiente de convección natural.

Iteración	Ts,i(°C)	T∞ext °C	qi=q1=q2 (W)	Asumir Ts,e (°C)	he1 con Ec. 73	he2 C.N.	he1≈he2 C.N.
1	7,8	25	4,18	24	10,165	1,793	F
2	7,8	25	4,18	23	5,082	2,179	F
3	7,8	25	4,18	22	3,388	2,447	F
4	7,8	25	4,18	21,5	2,904	2,559	F
5	7,8	25	4,18	21,4	2,823	2,580	F
6	7,8	25	4,18	21,3	2,747	2,601	F
7	7,8	25	4,18	21,2	2,675	2,621	F
8	7,8	25	4,18	21,19	2,668	2,623	F
9	7,8	25	4,18	21,18	2,661	2,625	F
10	7,8	25	4,18	21,17	2,654	2,627	F
11	7,8	25	4,18	21,14	2,633	2,633	V
12	7,8	25	4,18	21,1	2,606	2,641	F
13	7,8	25	4,18	21	2,541	2,660	F
14	7,8	25	4,18	20,5	2,259	2,753	F
15	7,8	25	4,18	20	2,033	2,840	F
16	7,8	25	4,18	19	1,694	2,996	F

Fuente: El autor

Finalmente $\bar{h}_{e1} = \bar{h}_{e2} = 2{,}63\ W/m^2K$ con $T_{s,e} = 21{,}14°C$

Por lo que se concluye la metodología propuesta y se obtiene los siguientes valores:

$T_{s,e} = 21{,}14°C$; $T_{\alpha,e} = 25°C$; $T_{\propto,i} = 3°C$; $T_{s,i} = 7{,}8°C$ $\dot{q}_i = \dot{q}_1 = \dot{q}_2 = \dot{q} = 4{,}18\ W$

$\bar{h}_e = 2{,}63\ W/m^2K$ $r_2 = 0{,}187\ m$

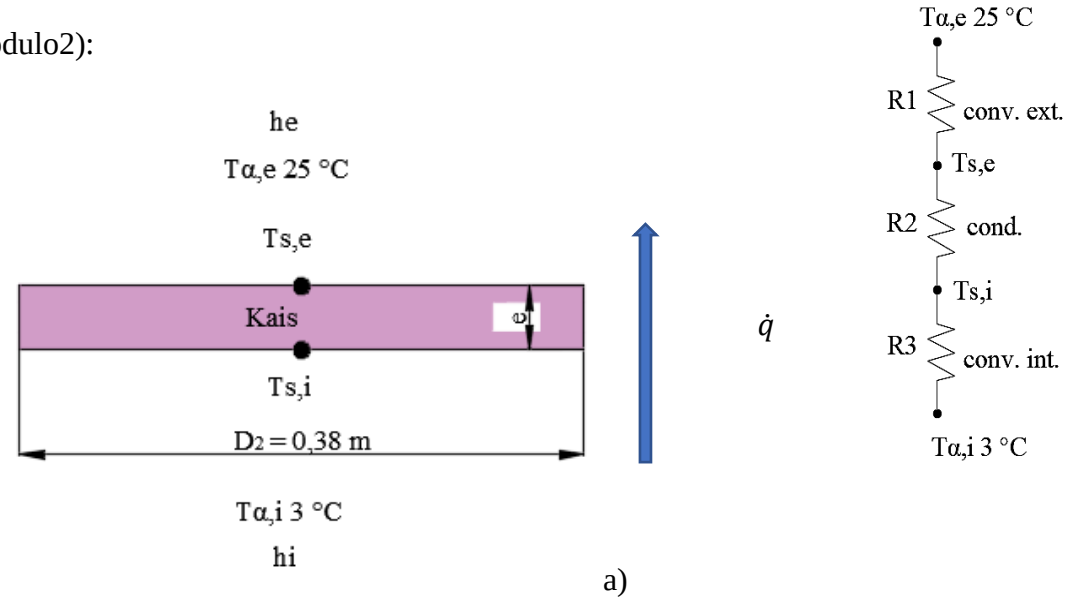
6.4.2 Cálculo de las pérdidas de calor a través de las tapas superior e inferior:

Para las tapas superior e inferior se adopta el mismo espesor de aislante (fibra de vidrio $k_{ais} = 0{,}039\frac{W}{m}.K$) que el calculado para la pared del cilindro, es decir, $e = 5\ cm = 0{,}05m$.

Se calculará las pérdidas de calor como una pared simple.

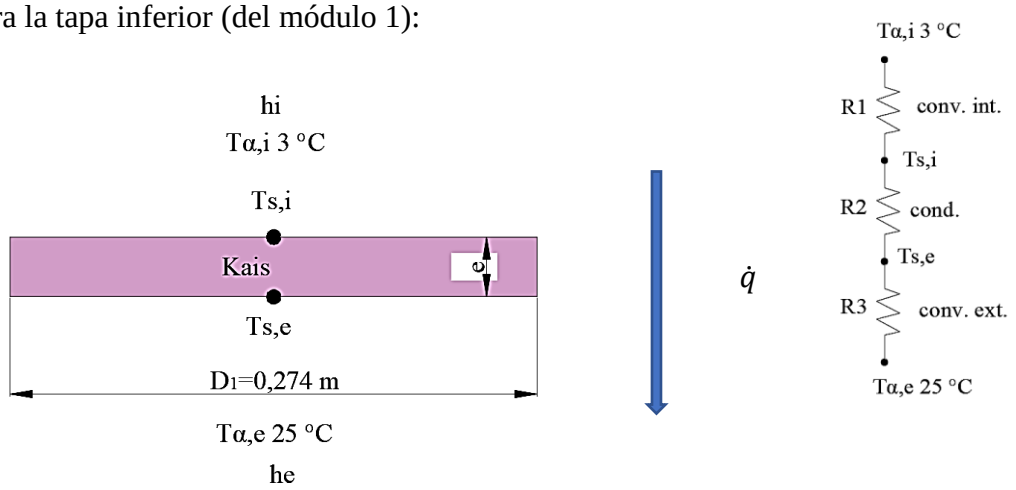
Puesto que las tapas estarán expuestas al ambiente, se tiene el esquema de la Figura 40.

Para la tapa superior (ubicada en la parte inferior del módulo2):



a)

Para la tapa inferior (del módulo 1):



b)

Figura 40: Esquema térmico para las tapas a) superior b) inferior del cilindro donde irán colocadas las muestras de agua.

Fuente: El autor

Según las figuras anteriores, para las tapas cambia la dirección del flujo de calor, puesto que en la tapa superior será hacia arriba, y en la inferior hacia abajo. Entonces, se calcula las pérdidas de calor por las tapas como si fuera una pared simple, para lo cual se considera que los coeficientes de convección interno ($\bar{h}_i = 2{,}89\ W/m^2K$) y externo ($\bar{h}_e = 2{,}63\ W/m^2K$)

calculados anteriormente, permanecerán constantes debido a la poca variabilidad en condiciones de temperatura ambiente.

6.4.2.1 Pérdida de calor por la tapa superior:

Se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{q}_{tapa,s} = \frac{T_{\propto,e} - T_{\propto,i}}{R_T}$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = \frac{1}{\bar{h}_e A} + \frac{e_{ais}}{k_{ais} A} + \frac{1}{\bar{h}_i A}$$

$$R_T = \frac{1}{A}\left(\frac{1}{\bar{h}_e} + \frac{e_{ais}}{k_{ais}} + \frac{1}{\bar{h}_i}\right)$$

Donde el Área A de la tapa superior es:

$$A = \frac{\pi D_2^2}{4}$$

Por lo que sustituyendo valores:

$$R_T = \frac{1}{\frac{\pi(0{,}38m)^2}{4}}\left(\frac{1}{2{,}63\ W/m^2K} + \frac{0{,}05m}{0{,}039\ \frac{W}{m}.K} + \frac{1}{2{,}89\ W/m^2K}\right)$$

$$R_T = 17{,}71\ °C/W$$

Entonces:

$$\dot{q}_{tapa,s} = \frac{25°C - 3°C}{17{,}71\ °C/W}$$

$$\dot{q}_{tapa,s} = 1{,}24\ W$$

6.4.2.2 Pérdida de calor por la tapa inferior:

$$\dot{q}_{tapa,i} = \frac{T_{\propto,e} - T_{\propto,i}}{R_T}$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = \frac{1}{\bar{h}_i A} + + \frac{e_{ais}}{k_{ais} A} + \frac{1}{\bar{h}_e A}$$

$$R_T = \frac{1}{A}\left(\frac{1}{\bar{h}_i} + \frac{e_{ais}}{k_{ais}} + \frac{1}{\bar{h}_e}\right)$$

Donde el Área A de la tapa inferior es:

$$A = \frac{\pi D_1^2}{4}$$

Por lo que sustituyendo valores:

$$R_T = \frac{1}{\frac{\pi(0{,}274\ m)^2}{4}}\left(\frac{1}{2{,}89\ W/m^2K} + \frac{0{,}05\ m}{0{,}039\ \frac{W}{m}.K} + \frac{1}{2{,}63\ W/m^2K}\right)$$

$$R_T = 34\ °C/W$$

Entonces:

$$\dot{q}_{tapa,i} = \frac{25°C - 3°C}{34\ °C/W}$$

$$\dot{q}_{tapa,i} = 0{,}65\ W$$

Por lo que la pérdida de calor por las tapas es:

$$\dot{q}_{tapas} = \dot{q}_{tapa,s} + \dot{q}_{tapa,i}$$

$$\dot{q}_{tapas} = 1{,}24\ W + 0{,}65$$

$$\dot{q}_{tapas} = 1{,}9\ W$$

A continuación, se calcula la pérdida total de calor que existirá por las paredes y tapas del cilindro del muestreador.

Entonces:

$$\dot{q}_T = \dot{q}_{tapas} + \dot{q}_{pared}$$

$$\dot{q}_T = 1{,}9\ W + 4{,}18\ W$$

$$\dot{q}_T = 6{,}1\ W$$

$$\dot{q}_T = 0{,}0061\ kW$$

6.5 Diseño del sistema de enfriamiento

Para su conservación, las muestras de agua tomadas necesitan almacenarse a 3°C, se colocará hielo alrededor de las mismas como método para mantener esa temparatura, por lo que es importante determinar la cantidad necesaria para este proceso. Para cálculos de diseño, se considera el caso más crítico que sería cuando las muestras tomadas estarán a la temperatura ambiente de 25°C. Ninguna norma sobre el muestreo menciona el tiempo exacto en que se le debe bajar la temperatura a las muestras, por lo que se ha consultado a un experto en el tema (docente investigador de la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja) y ha sugerido un tiempo de 10 minutos (600s). Además, de acuerdo a la capacidad del prototipo, se recolectará 4 muestras de 0,5 litros cada una, es decir en total se recolectará 2 litros (0,002m^3) de líquido. Dadas estas condiciones, primeramente se realiza un balance de energía y luego se determina la masa de hielo necesaria.

Entonces como punto de partida se tiene:

$T_{f,m} = 3°C$ $\qquad\qquad$ $T_{i,m} = 25°C$

Siendo: $T_{f,m}$ la temperatura final a la que llegará y se mantendrá la muestra y $T_{i,m}$ la temperatura a la que se recolecta la muestra.

Seguidamente se realiza un balance de energía (Figura 41):

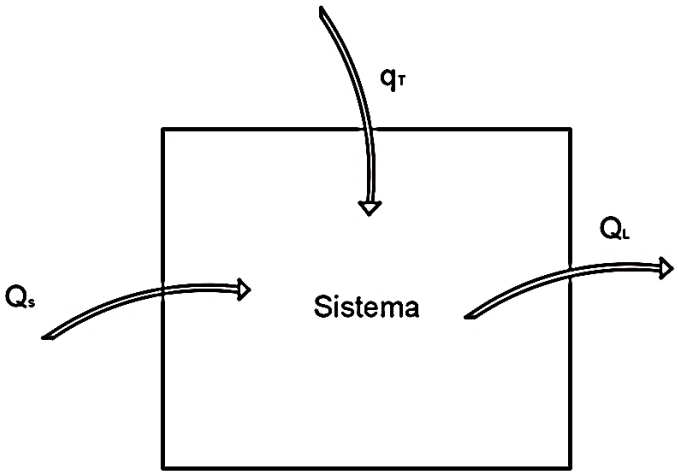


Figura 41: Esquema para el balance de energía.

Fuente: El autor

Donde:

$\dot{Q}_s$ es el calor sensible que se va a extraer de las muestras.

$\dot{Q}_L$ es el calor latente del hielo.

$\dot{q}_T$ es la pérdida total de calor, por las paredes del cilindro del muestreador.

De este balance de energía se puede obtener que el calor que sale del sistema es igual al calor que entra en el mismo:

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_s + \dot{q}_T \tag{74}$$

Se calcula el calor sensible de la muestra mediante la Ecuación(4):

$$\dot{Q}_s = \dot{m}C_p(\,T_{i,m} - T_{f,m})$$

Se toma las propiedades del agua a la temperatura promedio (25+3)/2=14 °C, del ANEXO 6, como no existen valores a esta temperatura (14°C), se interpola para hallar los mismos y se obtiene:

$C_p = 4186{,}8\, J/kg\ K$

$\rho = 999{,}22\ kg/\ m^3$

Seguidamente se calcula la masa de los 2 litros (0,002m^3) de agua:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Siendo:

ρ la densidad del agua(kg/m^3).

m la masa total de las muestras de agua recolectadas (kg).

V el volumen total recolectado de las muestras (m^3)

$$m = \rho V$$

$$m = 999{,}22\ kg/m^3\ (0{,}002m^3)$$

$$m = 2\ kg$$

Entonces, el flujo másico de las muestras durante los 10 minutos (600 s) es:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{2\ kg}{600\ s}$$

$$\dot{m} = 0{,}00333\ kg/s$$

Sustituyendo valores, se obtiene el calor sensible de las muestras:

$$\dot{Q}_s = 0{,}00333 kg/s(4186{,}8 J/kg\ K)(25°C - 3°C)$$

$$\dot{Q}_s = 306{,}72\ W = 0{,}30672\ kW$$

Seguidamente se calcula el calor latente de fusión del hielo con la Ecuación (5):

$$\dot{Q}_L = \frac{m_{hielo}}{t} L_f$$

Del ANEXO 4 se tiene que $L_f = 333{,}7\ kJ/kg$ por lo que:

$$\dot{Q}_L = \frac{m_{hielo}}{600\ s}\left(333{,}7\frac{kJ}{kg}\right)$$

$$\dot{Q}_L = 0{,}556\ m_{hielo}\ \frac{kJ}{kg.s}$$

$$\dot{Q}_L = 0{,}556\ m_{hielo}\ \frac{kW}{kg}$$

Del balance de energía se obtuvo:

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_s + \dot{q}_T$$

Entonces sustituyendo valores en la ecuación del balance de energía se tiene:

$$0{,}556\ m_{hielo}\ \frac{kW}{kg} = 0{,}30672\ kW + 0{,}0061\ kW$$

$$m_{hielo} = 0{,}56\ kg$$

6.5.1 Cálculo de la transferencia de calor a través de la botella de polietileno

Primeramente, el área superficial (A) de la botella de 0,5 litros (Figura 42), que está en contacto con el hielo, por su complejidad, se determinó mediante un software de modelado 3D:

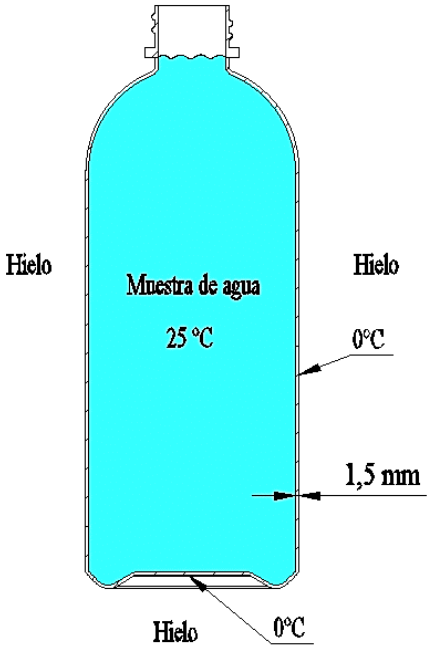


Figura 42: Botella de 0,5 litros con la muestra de agua.

Fuente: El autor

Y se obtuvo que A es:

$$A = 36540\ mm^2$$

$$A = 0{,}03654\ m^2$$

Seguidamente, se calcula la transferencia de calor por conducción mediante la Ecuación (6):

$$\dot{Q}_{cond} = k_{pol}\ A \frac{\Delta T}{L} = k_{pol}\ A \frac{T_{i,m} - T_{hielo}}{L}$$

Siendo: k_{pol} la conductividad térmica del polietileno (0,43 W/m K); $T_{i,m}$ la temperatura a la que se recolecta la muestra (25°C) y T_{hielo} la temperatura del hielo (0°C). Sustituyendo valores se tiene:

$$\dot{Q}_{cond} = (0{,}43 W/mK\ )(0{,}03654\ m^2) \frac{(25 - 0)°C}{1{,}5\ \times\ 10^{-3} m}$$

$$\dot{Q}_{cond} = 261{,}87\ W$$

Entonces, para las cuatro botellas de 0,5 litros la transferencia de calor es:

$$\dot{Q}_{cond} = 261{,}87\ W\ \times\ 4$$

$$\dot{Q}_{cond} = 1047{,}48\ W\ = 1{,}04748\ kW$$

Considerando que se requiere 333,7 kJ (L_f, ANEXO 4) de energía para derretir $1kg$ de hielo a 0°C, la razón a la cual se derrite el hielo se determina por la Ecuación (5):

$$\dot{m}_{2,hielo} = \frac{\dot{Q}_{cond}}{L_f} = \frac{1{,}04748\ kJ/s}{333{,}7\ kJ/kg} = 0{,}00314\,\frac{kg}{s}$$

Por lo que en el tiempo de 10 minutos (600 s) para el enfriamiento de las muestras, la masa de hielo que se derrite es:

$$m_{2,hielo} = \dot{m}_{2,hielo} \times t = 0{,}00314\,\frac{kg}{s} \times 600s = 1{,}88\ kg$$

Finalmente, la masa total de hielo que se necesita para el enfriamiento de las muestras es:

$$m_{T,hielo} = m_{hielo} + m_{2,hielo} = 0{,}56\ kg + 1{,}88\ kg$$

$$m_{T,hielo} = 2{,}44\ kg$$

Por lo tanto, se requiere de 2,44 kg de hielo para bajar la temperatura a las muestras en un tiempo de 10 minutos.

6.6 Cálculos mecánicos del diseño

En los cálculos de transferencia de calor ya se obtuvo datos del diseño para el módulo 1 que se muestran en la Figura 43 (cotas en mm):

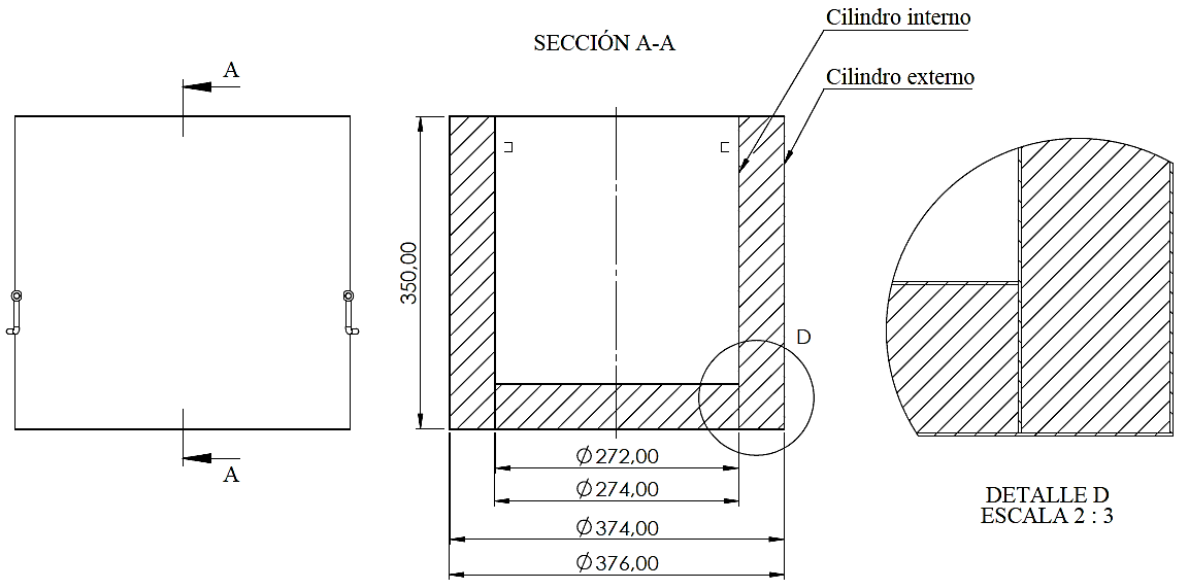


Figura 43: Esquema para el cálculo mecánico de la estructura del muestreador.

Fuente: El autor

Puesto que estos dos cilindros concéntricos (interno y externo) servirán de base para el resto del muestreador, se calcula como si fuera una columna. Para el diseño se ha seleccionado acero inoxidable AISI 430 de 1mm de espesor, debido a que por aspectos constructivos es el espesor mínimo soldable mediante soldadura de arco eléctrico.

Primeramente se calcula el momento de inercia para el cilindro exterior e interior, de acuerdo al ANEXO 12 mediante la ecuación:

$$\mathrm{I} = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) \tag{75}$$

Siendo D el diámetro exterior y d el diámetro interior para cada cilindro, sustituyendo valores en la Ecuación (75) se obtiene el momento de inercia para el cilindro hueco externo:

$$\mathrm{I}_1 = \frac{\pi}{64}((0{,}376m)^4 - (0{,}374m)^4)$$

$$\mathrm{I}_1 = 2{,}07 \times 10^{-5}\, m^4$$

Y para el cilindro hueco interno se tiene:

$$\mathrm{I}_2 = \frac{\pi}{64}((0{,}274m)^4 - (0{,}272m)^4)$$

$$\mathrm{I}_2 = 8 \times 10^{-6}\, m^4$$

En consecuencia, el momento de inercia total de los dos cilindros es:

$$\mathrm{I}_\mathrm{T} = \mathrm{I}_1 + \mathrm{I}_2$$

$$\mathrm{I}_\mathrm{T} = (2{,}07 \times 10^{-5}\, m^4) + (8 \times 10^{-6}\, m^4)$$

$$\mathrm{I}_\mathrm{T} = 2{,}87 \times 10^{-5}\, m^4$$

Seguidamente se calcula las áreas transversales de cada cilindro:

Para el cilindro externo:

$$A_1 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4}((0{,}376m)^2 - (0{,}374m)^2)$$

$$A_1 = 1{,}18 \times 10^{-3}\, m^2$$

Para el cilindro Interno:

$$A_2 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4}((0{,}274m)^2 - (0{,}272m)^2)$$

$$A_2 = 8{,}58 \times 10^{-4}\ m^2$$

Entonces, el área transversal total (A_T) de los cilindros es:

$$A_T = A_1 + A_2$$

$$A_T = 1{,}18 \times 10^{-3}\ m^2 + 8{,}58 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$A_T = 2{,}04 \times 10^{-3}\ m^2$$

Por lo que el radio mínimo de giro es:

$$K = \sqrt{\frac{\mathrm{I_T}}{A_T}}$$

$$K = \sqrt{\frac{2{,}87 \times 10^{-5}\ m^4}{2{,}04 \times 10^{-3}\ m^2}}$$

$$K = 0{,}12\ m$$

El módulo de elasticidad E para el acero inoxidable AISI 430 es de 216 GPa; Sy=345 MPa y C será ¼ según las condiciones que se encuentran de los extremos del cilindro, de acuerdo a la Figura 10 .

Seguidamente se determina si debe usarse la ecuación de Euler o la de J.B. Johnson, ya que si el valor de L/K es menor que el dado por la Ecuación (56) debe usarse la fórmula de J.B. Johnson que es válida hasta L/K =0.Sustituyendo valores se tiene:

$$\frac{L}{K} < \sqrt{\frac{2C\pi^2\mathrm{E}}{S_y}}$$

$$\frac{0{,}35m}{0{,}12m} < \sqrt{\frac{2\left(\frac{1}{4}\right)\pi^2 216 \times 10^9}{345 \times 10^6}}$$

$$2{,}9 < 55{,}58$$

Dado que L/K es menor, sebe usarse la Ecuación (51) de J. B. Johnson para determinar la carga crítica:

$$F_{cr} = S_y A_T \left(1 - \frac{S_y (L/K)^2}{4C\pi^2 \mathrm{E}}\right)$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$F_{cr} = (345 \times 10^6 \mathrm{Pa})(2{,}04 \times 10^{-3}\ m^2\ )\left(1 - \frac{(345 \times 10^6 \mathrm{Pa})(2{,}9)^2}{4\left(\frac{1}{4}\right)\pi^2 (216 \times 10^9)}\right)$$

$$F_{cr} = 702842\ N$$

Seguidamente se calcula el esfuerzo equivalente de columna para la carga real F deducida de la ecuación de J. B. Johnson (Ecuación (58)), considerando el cilindro interno que es el de menor área transversal y por lo tanto el más crítico. En este caso la carga real F es el peso de los módulos 2 y 3 que en conjunto dan 133,53 N y que estará soportado por el módulo 1, sustituyendo valores:

$$S_{eq} = \frac{F}{A_2}\left(\frac{1}{1 - \frac{S_y (L/K)^2}{4C\pi^2 \mathrm{E}}}\right)$$

$$S_{eq} = \frac{133{,}53N}{8{,}58 \times 10^{-4}\ m^2}\left(\frac{1}{1 - \frac{(345 \times 10^6 \mathrm{Pa})(2{,}9)^2}{4\left(\frac{1}{4}\right)\pi^2 (216 \times 10^9 \mathrm{Pa})}}\right)$$

$$S_{eq} = 155{,}841\ \mathrm{kPa}$$

El esfuerzo equivalente es mucho menor que el esfuerzo que es capaz de resistir el material, por lo que el elemento no va a fallar.

De la misma manera se calcula la resistencia del módulo 1 por aplastamiento haciendo uso de la Ecuación (39). La literatura recomienda que cuando un elemento está sometido a compresión se debe aplicar la Ecuación (47):

$$\sigma_{perm} = 0{,}90 S_y$$

Dado que para el acero inoxidable AISI 430 $S_y = 345$ MPa, sustituyendo valores se tiene:

$$\sigma_{perm} = 0{,}90(345\text{MPa}) = 311 \text{ Mpa}$$

Aplicando la Ecuación (39), y sustituyendo datos se encuentra el esfuerzo que produce los módulos 2 y 3 con un peso de 133,53 N sobre el módulo 1, siendo A_T el área transversal de los dos cilindros:

$$\sigma = \frac{F}{A_T}$$

$$\sigma = \frac{133{,}53\ N}{2{,}04 \times 10^{-3}\ m^2} = 65455{,}8 \text{ Pa}$$

Se pudo determinar que el esfuerzo generado es mucho menor que el esfuerzo que es capaz de soportar el material. Las características mecánicas son suficientes, puesto que la carga que va soportar el módulo 1 es bastante pequeña para el material seleccionado, (acero inoxidable AISI 430) se ha empleado este material debido a sus características, como por ejemplo, bueno para el trabajo a la intemperie, no se corroe, alta durabilidad, fácil de limpiar, reciclable entre otras.

6.6.1 Cálculo del esfuerzo en las manijas

Las manijas del muestreador serán de varilla redonda de acero inoxidable AISI 430, permitirán manipularlo o transportarlo, la manija más crítica será la superior del módulo 3 (Figura 44) ya que si se suspende de ella el muestreador, tendrá que soportar el peso total del mismo (256,2N).

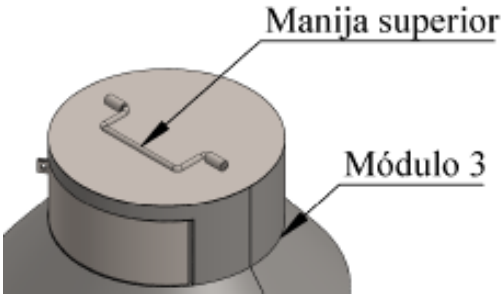


Figura 44: Manija superior ubicada en el módulo 3.

Fuente: El autor

La geometría de la manija se muestra en la Figura 45 (cotas en mm):

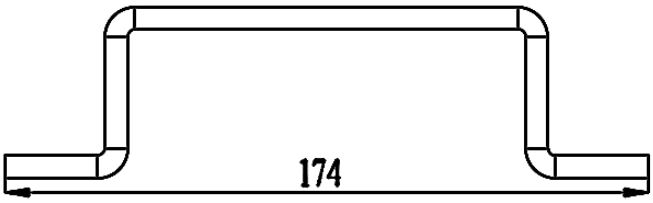


Figura 45: Representación de la manija superior

Fuente: El autor

Para determinar el diámetro mínimo que debe tener la misma se realiza un análisis estático, el diagrama de cuerpo libre se muestra en la Figura 46 (cotas en m), donde F (256,2N) representa el peso del muestreador.

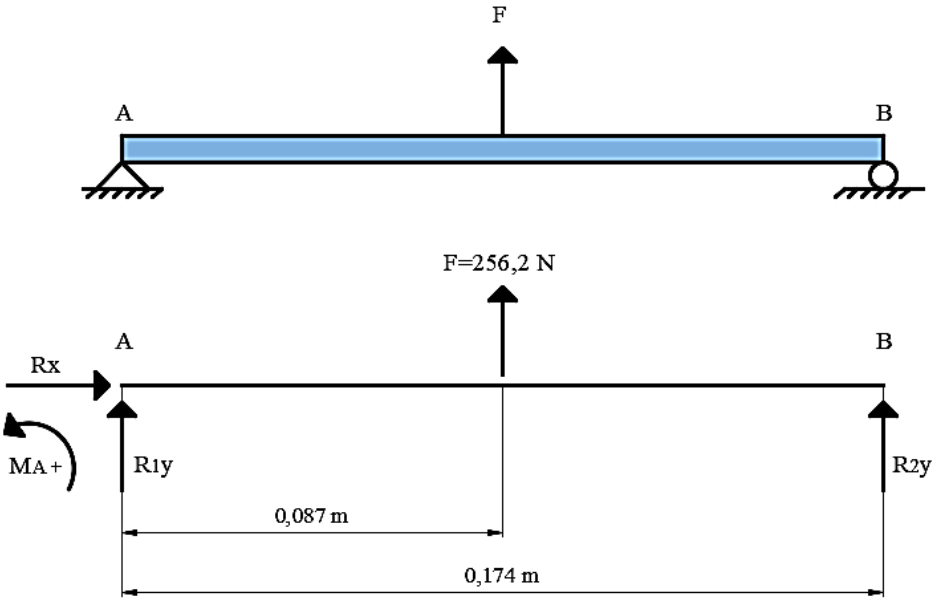


Figura 46: Representación del diagrama de cuerpo libre de la manija.

Fuente: El autor

Se realiza la sumatoria de fuerzas en y:

$$\sum Fy = 0 \ \uparrow +$$

$$R_{1y} + F + R_{2y} = 0$$

$$R_{1y} = -F - R_{2y}$$

A continuación se realiza la sumatoria de momentos en el punto A:

$$\sum M_A = 0$$

$$(256{,}2N)(0{,}087m) + R_{2y}(0{,}174m) = 0$$

De donde: $R_{2y} = -128{,}1\ N$, sustituyendo este valor en la ecuación de la sumatoria de fuerzas se encuentra R_{1y}:

$$R_{1y} = -F - R_{2y} = -256{,}2N - (-128{,}1N)$$

$$R_{1y} = -128{,}1\ N$$

Se obtiene el diagrama de cortantes y de momento flector (Figura 47):

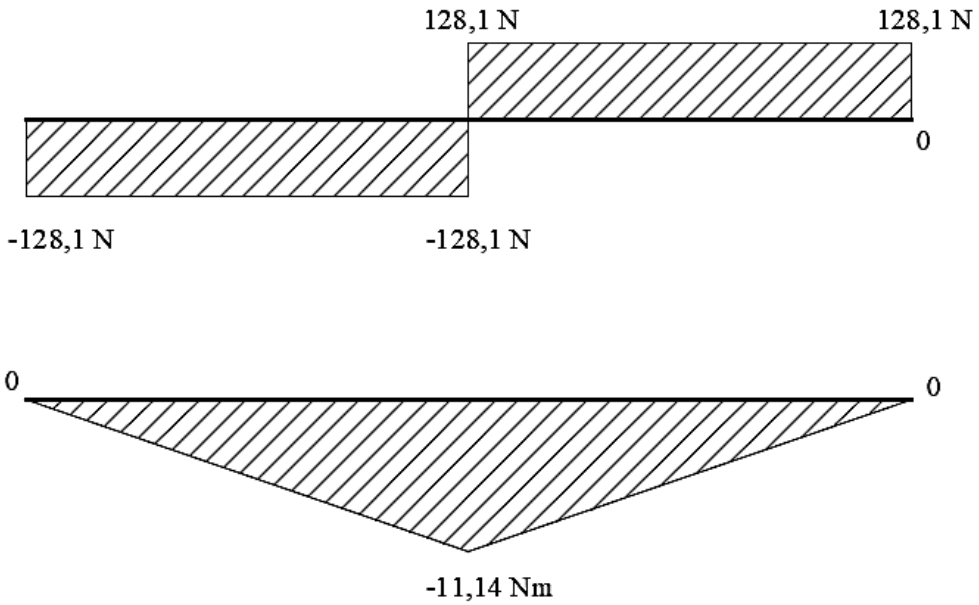


Figura 47: Diagrama de la fuerza cortante y el momento flector en la manija.

Fuente: El autor

Seguidamente, de la Figura 47 se obtiene el momento flector máximo producido en la manija debido al peso del muestreador:

$$Mf = 11{,}14\ Nm$$

A continuación, en la ecuación del esfuerzo flector:

$$\sigma_f = \frac{Mf * c}{\mathrm{I}}$$

Puesto que la varilla es de sección circular, $c = \frac{D}{2}$ e $\mathrm{I} = \frac{\pi D^4}{64}$, se sutituye estos datos y se tiene:

$$\sigma_f = \frac{32Mf}{\pi D^3}$$

De la cual, cuando un elemento está sometido a flexión se debe aplicar la Ecuación (46):

$$0{,}60S_y \leq \sigma_{perm} \leq 0{,}75S_y$$

Para el acero Inoxidable AISI 430 $S_y = 345$ MPa, entonces:

$$\sigma_{perm} = \sigma_f = 0{,}75(345\ \mathrm{MPa}) = 258{,}75\ \mathrm{MPa}$$

Conocido este valor, de la ecuación del esfuero flector se despeja D para encontrar el diámetro mínimo que debería tener la manija:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32Mf}{\pi\sigma_f}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32(11{,}14\ Nm)}{\pi(258{,}75\ \mathrm{MPa})}} = 7{,}6\ \times 10^{-3}\ m$$

Entonces el diámetro mínimo que debe tener la manija es de 7,6 mm, por lo que de los diámetros comerciales disponibles de varilla redonda, se selecciona el de 5/16” (7,9 mm)

A continuación, se calcula la manija debido al esfuerzo cortante. Como el área transversal de la misma es:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(7{,}9 \times 10^{-3}m)^2}{4} = 4{,}9 \times 10^{-5}m^2$$

El valor promedio del esfuerzo cortante se encuentra a través de la Ecuación (40):

$$\tau_{prom} = \frac{F}{A}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\tau_{prom} = \frac{256{,}2\text{N}}{(4{,}9 \times 10^{-5} m^2)} = 5228571 \text{ Pa} = 5{,}228571 \text{ MPa}$$

De acuerdo a la Ecuación (45) el esfuerzo cortante permisible de un material debe ser:

$$\tau_{perm} = 0{,}40 S_y$$

Para el acero Inoxidable AISI 430 $S_y = 345$ MPa, sustituyendo datos, se tiene:

$$\tau_{perm} = 0{,}40(345 \text{ MPa}) = 138 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante producido por el peso del muestreador sobre la manija, es mucho menor el esfuerzo permisible del material, por lo tanto no fallará por corte.

6.7 Cálculos hidráulicos

6.7.1 Dimensionamiento de la longitud de la manguera

Para determinar la longitud de la manguera de aspiración, se ha seleccionado como referencia los afluentes más cercanos a la ciudad de Loja, se tomó dos mediciones utilizando Google Earth, una al inicio del afluente, y otra en su desembocadura para obtener el ancho promedio como se muestra en la Tabla *16*.

Tabla 16
Resultado de Mediciones utilizando Google Earth.

Afluente	Ancho Inicio (m)	Ancho final (m)	Promedio (m)
Río Malacatos	6	6,5	6,25
Río Zamora Huayco	5,3	8,5	6,9
Río Jipiro	5	7,6	6,3

Fuente: Google Earth

Entonces, se considera el valor máximo del promedio que en este caso sería 6,9 m, puesto que según la literatura, las muestras de agua en afluentes deben tomarse lo más alejado posible de la orilla, es decir a la mitad del ancho de la corriente, entonces:

$$Ancho_{medio.río} = \frac{Ancho\ promedio\ máximo\ del\ río}{2} = \frac{6{,}9}{2}$$

$$Ancho_{medio,río} = 3{,}45\ m$$

El muestreador debe mantenerse alejado de la orilla para evitar que la corriente se lo lleve, por lo que se adopta una distancia de seguridad de 1,5 metros, y finalmente la longitud total de manguera es:

$$L_{manguera} = Ancho_{medio,río} + 1{,}5m$$

$$L_{manguera} = 3{,}45 + 1{,}5 = 4{,}95\ m \approx 5m$$

La norma INEN 2176 menciona que las líneas de muestreo, no deben contaminar las muestras, por disponibilidad, se ha seleccionado manguera de PVC no tóxico, grado alimenticio.

6.7.2 Cálculo de la masa para el ancla de sujeción de la boquilla de aspiración y la manguera.

La manguera de aspiración al estar sumergida en la corriente del afluente, experimentará una fuerza de arrastre, por lo que es necesario colocar pesas (anclas) para evitar que se la lleve (Figura 48).

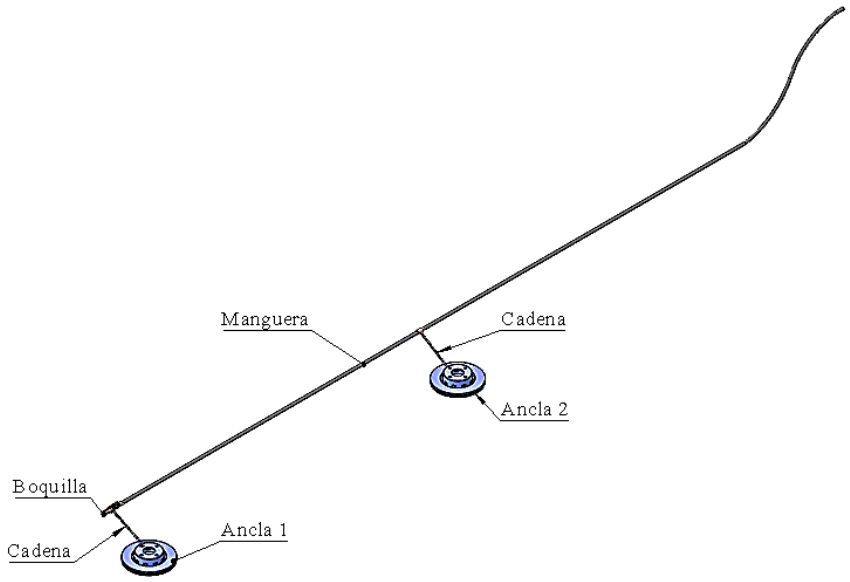


Figura 48: Manguera de aspiración y sus pesas.

Fuente: El autor

Conocida la longitud de manguera que va a estar sumergida en el agua, se procede a calcular la masa del ancla que sujetará la boquilla y la manguera de aspiración para evitar que se las lleve la corriente.

Las fuerzas a las que están sometidos estos elementos, se presentan en el siguiente diagrama (Figura 49):

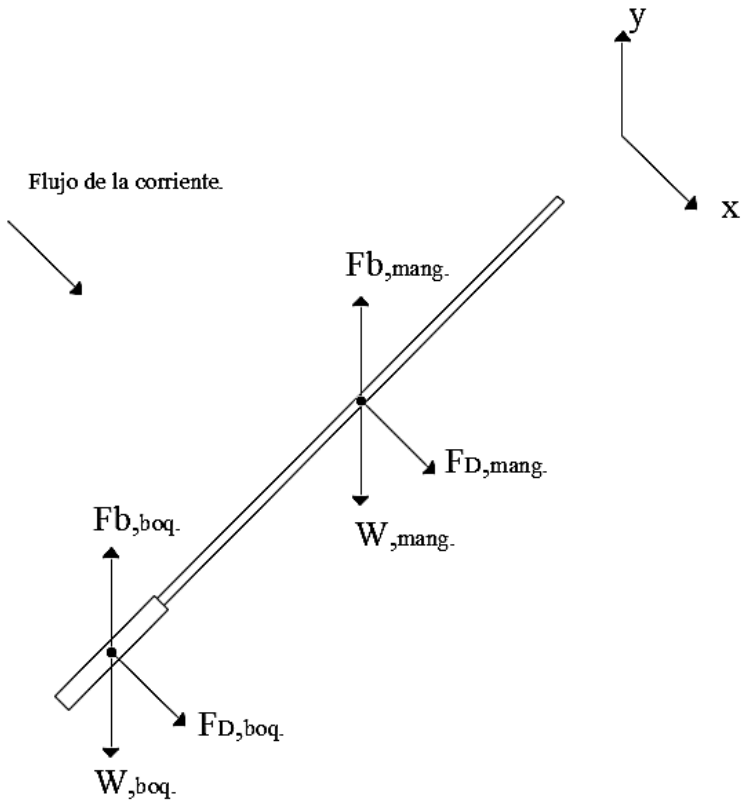


Figura 49: Esquema de fuerzas a las que está sometida la boquilla y la manguera del muestreador.

Fuente: El autor

Siendo F_D la fuerza de arrastre; W el peso del elemento Y Fb la fuerza de flotabilidad. Primeramente se calcula la fuerza de arraste que la corriente ejercerá sobre la boquilla, luego sobre la sección de manguera que va a estar sumergida, seguidamente se calcula el peso y la fuerza de flotabilidad para luego realizar un análisis estático y finalmente determinar la masa necesaria del ancla.

6.7.2.1 Fuerza de arrastre (F_D) sobre sobre la boquilla:

La fuerza de arrastre sobre la boquilla se determina mediante la Ecuación (37):

$$arrastre = F_{D,boq.} = C_D \left(\frac{\rho V^2}{2}\right) A$$

Primeramente, el área proyectada (A) de la boquilla (Figura 50) por su complejidad, se determinó mediante un software de modelado 3D:

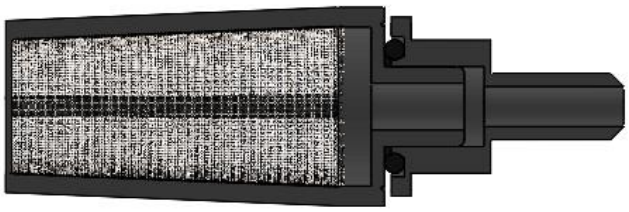


Figura 50: Sección transversal de la boquilla.

Fuente: El autor

Y se obtuvo que A es:

$$A = 2096.83\ mm^2$$

$$A = 0{,}00209683\ m^2$$

Luego, para determinar el coeficiente arrastre (C_D) es neceario conocer el número de Reynolds, que se determina mediante la Ecuación (31):

$$Re = \frac{\mathrm{V}D}{\nu}$$

Dado que V es la velocidad de la corriente del río (1 m/s) y D el diámetro mayor de la boquilla (27 mm) se calcula la viscosidad cinemática del agua (ν) a la temperatura ambiente. (25°C)

Del ANEXO 5, se determina viscosidad cinemática del agua a 25 °C, puesto que no existen datos a esa temperatura, se interpola y se obtiene la viscosidad cinemática:

$$\nu = 0{,}895 \times 10^{-6}\ m^2/s$$

Se sustituye valores en la Ecuación (31) para hallar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{(1m/s)(27 \times 10^{-3}m)}{0{,}895 \times 10^{-6}m^2/s}$$

$$Re = 30168 = 3{,}0168 \times 10^4$$

Seguidamente, se determina el coeficiente de arrastre de acuerdo a la Figura 5 de donde se obtiene $C_D = 1{,}2$ (cilindro) y del ANEXO 6, la densidad del agua a 25°C es $\rho = 997\ kg/m^3$

Por lo que sustituyendo datos en la Ecuación (37) la fuerza de arrastre para la boquilla es:

$$F_{D,boq.} = 1{,}2\left(\frac{997kg/m^3(1m/s)^2}{2}\right)(0{,}00209683\ m^2\ )$$

$$F_{D,boq} = 1{,}25\ N$$

Seguidamente, se calcula la fuerza de arrastre que existirá en el tramo de manguera sumergido.

6.7.2.2 Fuerza de arrastre (F_D) sobre sobre la manguera

La longitud máxima de la manguera que se puede sumergir en la corriente es de 4 metros por lo que su sección transversal se presenta en la Figura 51:

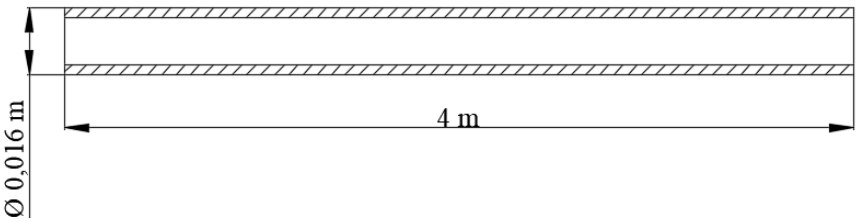


Figura 51: Sección transversal de la manguera.

Fuente: El autor

Entonces, el área proyectada de la sección transversal de la manguera es:

$$A = D \times L = 0{,}016m \times 4m$$

$$A = 0{,}064\ m^2$$

A continuación, se calcula el número de Reynolds mediante la Ecuación (31):

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$Re = \frac{(1m/s)(0{,}016m)}{0{,}895 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 17877 = 1{,}7877 \times 10^4$$

Luego se determina el coeficiente de arrastre según Figura 5 de donde se obtiene $C_D = 1{,}2$ (cilindro) y del ANEXO 6 la densidad del agua a 25°C es $\rho = 997\ kg/m^3$.Por lo que sustituyendo datos en la Ecuación (37), la fuerza de arrastre para la manguera es:

$$F_{D,mang.} = 1{,}2\left(\frac{997kg/m^3(1m/s)^2}{2}\right)(0{,}064\ m^2)$$

$$F_{D,mang.} = 38{,}28\ N$$

Siguiendo con el procedimiento para determinar la masa del ancla, ahora se calcula el peso de la boquilla y de la manguera, para el caso de ésta, se considerará que está llena de agua toda la sección sumergida en el afluente puesto que en este caso presentará el mayor peso.

Se calcula el peso de la boquilla:

La masa de la boquilla es de 25g (0,025)kg, por lo que su peso es:

$$W_{boq.} = m_{boq.}g$$

$$W_{boq.} = (0{,}025kg)(9{,}81m/s^2)$$

$$W_{boq.} = 0{,}245\ \ N$$

Se calcula el peso de la manguera y el agua dentro de la misma.

La masa de los 4 metros de manguera es de 1,38 lbs, es decir 0,63 kg. Entonces, el peso de la manguera es:

$$W_{mang.} = m_{mang.}g$$

$$W_{mang.} = 0{,}63kg(9{,}81m/s^2)$$

$$W_{mang.} = 6{,}18\ \ N$$

Para determinar el peso del agua dentro de la manguera, se tiene el esquema de la Figura 52:

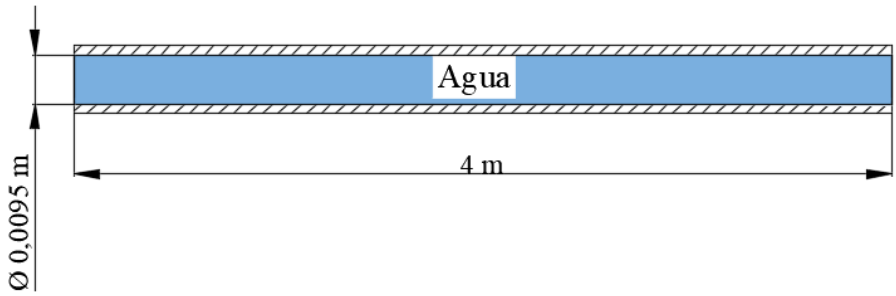


Figura 52: Esquema del agua dentro de la manguera.

Fuente: El autor

Se calcula el volumen del agua dentro de la manguera siendo el diámetro interno de la manguera D=0,0095m :

$$V = \frac{\pi D^2}{4} L$$

$$V = \frac{\pi(0{,}0095\text{m})^2}{4}(4\text{m})$$

$$V = 0{,}00028\, m^3$$

Por lo que su masa es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m_{agua} = \rho V$$

$$m_{agua} = 997{,}2 kg/m^3 (0{,}00028\, m^3)$$

$$m_{agua} = 0{,}279\, kg$$

Entonces el peso del agua es:

$$W_{agua} = m_{agua}\, g$$

$$W_{agua} = 0{,}279 kg (9{,}81 m/s^2)$$

$$W_{agua} = 2{,}74\ N$$

El peso total de la manguera y el agua dentro de la misma es el siguiente:

$$W_{m,a} = W_{mang.} + W_{agua}$$

$$W_{mang,a} = 6{,}18\ N + 2{,}74\ \ N$$

$$W_{mang,a} = 9{,}92\ N$$

Seguidamente se calcula la fuerza de flotación que el agua ejerce sobre la boquilla y sobre la manguera.Como la boquilla y la manguera estarán completamente sumergidas en el agua del afluente, el volumen desplazado del fluido, es igual al volumen de dichos elementos.Por la complejidad de la forma de la boquilla de aspiración, experimentalmente (se sumergió totalmente la boquilla en un recipiente completamente lleno de agua y el volumen derramado se recolectó y se midió) se determinó su volumen y se obtuvo que es de 15 cm^3 , en metros cúbicos su volumen es:

$$V_{boq.} = 1{,}5 \times 10^{-5} m^3$$

La fuerza de flotación que experimenta la boquilla se determina usando la Ecuación (39):

$$F_{b,boq.} = \gamma_f V_{boq.}$$

$$F_{b,boq.} = \rho g V_{boq.}$$

$$F_{b,boq.} = 997{,}2 kg/m^3 (9{,}81 m/s^2)(1{,}5 \times 10^{-5} m^3)$$

$$F_{b,boq.} = 0{,}15\ N$$

Seguidamente se calcula el volumen de la maguera (Figura 53):

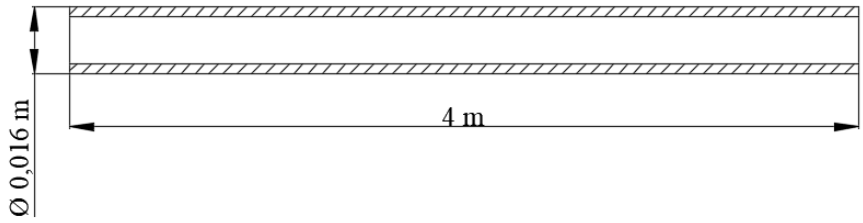


Figura 53: Esquema para el volumen de la manguera.

Fuente: El autor

$$V_{mang.} = \frac{\pi(0{,}016m)^2}{4} \times 4m$$

$$V_{mang.} = 8 \times 10^{-4} m^3$$

Entonces, la fuerza de flotación de la manguera es:

$$F_{b,mang.} = \gamma_f V_{mang.}$$

$$F_{b,mang.} = \rho g V_{mang.}$$

$$F_{b,mang.} = 997{,}2 kg/m^3 (9{,}81 m/s^2)(8 \times 10^{-4} m^3)$$

$$F_{b,mang.} = 7{,}83\ N$$

Finalmente se realiza un análisis estático para determinar la masa que debe tener el ancla de sujeción.

De los cálculos realizados, se obtiene el esquema de la Figura 54:

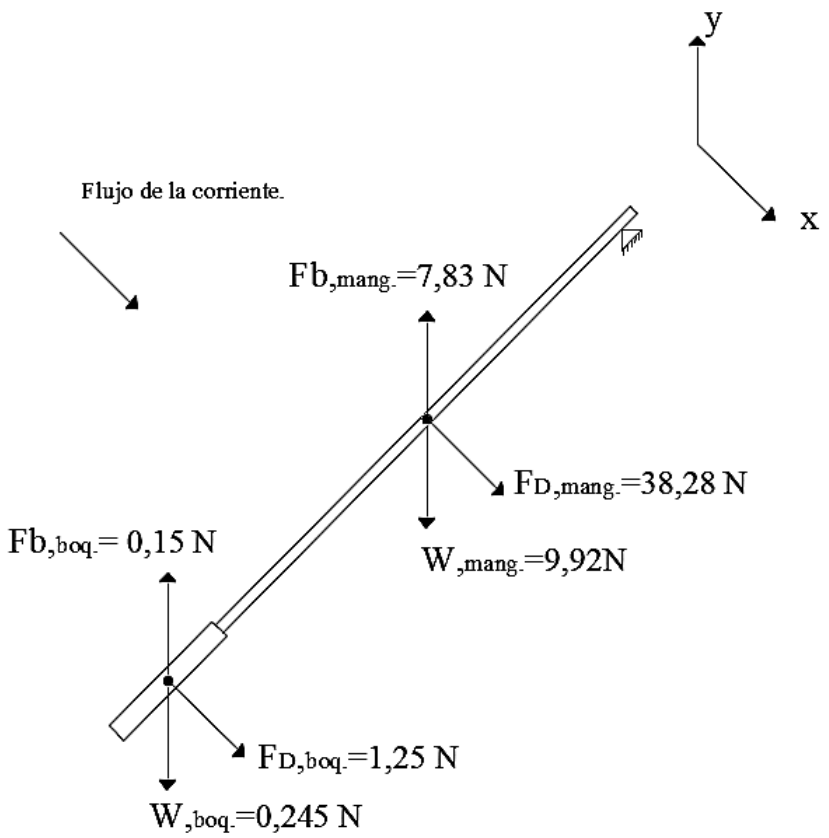


Figura 54: Fuerzas a las que está sometida la boquilla y la manguera del muestreador.

Fuente: El autor

Para el análisis estático se realiza la sumatoria de fuerzas en x e y para determinar la fuerza resultante.

Sumatoria de fuerzas en x:

$$\sum Fx = 0 \rightarrow +$$

$$\sum Fx = 1{,}25\ N + 38{,}28N = 39{,}53\ N$$

Sumatoria de fuerzas en y:

$$\sum Fy = 0 \uparrow +$$

$$\sum Fy = 0{,}15N - 0{,}245N + 7{,}83N - 9{,}92\ N = -2{,}185\ N$$

Por lo que la fuerza resultante es:

$$F_R = \sqrt{\left(\sum Fx\right)^2 + \left(\sum Fy\right)^2}$$

$$F_R = \sqrt{(39{,}53)^2 + (-2{,}185)^2}$$

$$F_R = 39{,}6\ N$$

A continuación se calcula el ángulo de la fuerza resultante (F_R):

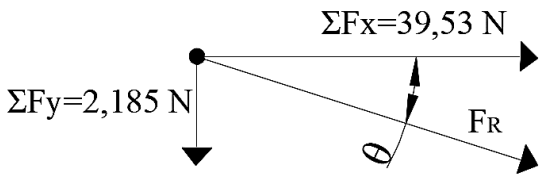


Figura 55: Esquema para determinar el ángulo de la fuerza resultante.

Fuente: El autor

$$tan\theta = \frac{Fy}{Fx} = \frac{-2{,}185}{39{,}53}$$

Despejando, se obtiene el ángulo:

$$\theta = -3{,}16\ °$$

Entonces la Fuerza resultante es:

$$F_R = 39{,}6\ N\ ;\theta - 3{,}16\ °$$

Lo que significa que la masa mínima de ancla para contrarrestar la fuerza resultante de la manguera y la boquilla debe ser:

$$m_{ancla} = \frac{F_R}{9{,}81\ \frac{N}{kg}} = \frac{39{,}6N}{9{,}81\ \frac{N}{kg}}$$

$$m_{ancla} = 4\ kg$$

Debe considerarse un factor de seguridad para esta masa, frente a situaciones imprevistas. De la Tabla *7* y Tabla *8* se obtiene el factor de seguridad con los criterios de trabajo:

	n_{sx}		n_{sy}
A = mb		D = ns	
B = b	1,3	E = ns	1,0
C = mb			

Sustituyendo valores en la Ecuación (48):

$$n_s = n_{sx} n_{sy} = 1{,}3 \times 1{,}0 = 1{,}3$$

Entonces, finalmente, la masa del ancla debe ser:

$$m_{ancla} = 4\ kg \times n_s = 4\ kg \times 1{,}3$$

$$m_{ancla} = 5{,}3\ kg$$

6.8 Diseño del sistema de bombeo (recolección de las muestras) y purgado de la manguera de aspiración.

Este sistema permitirá recolectar las muestras y purgar la manguera de aspiración para recibir agua fresca. La parte de aspiración se la realizará mediante una bomba de micro diafragma y la parte de purgado mediante un mini compresor, las dos etapas estarán separadas por electroválvulas (Figura 56).

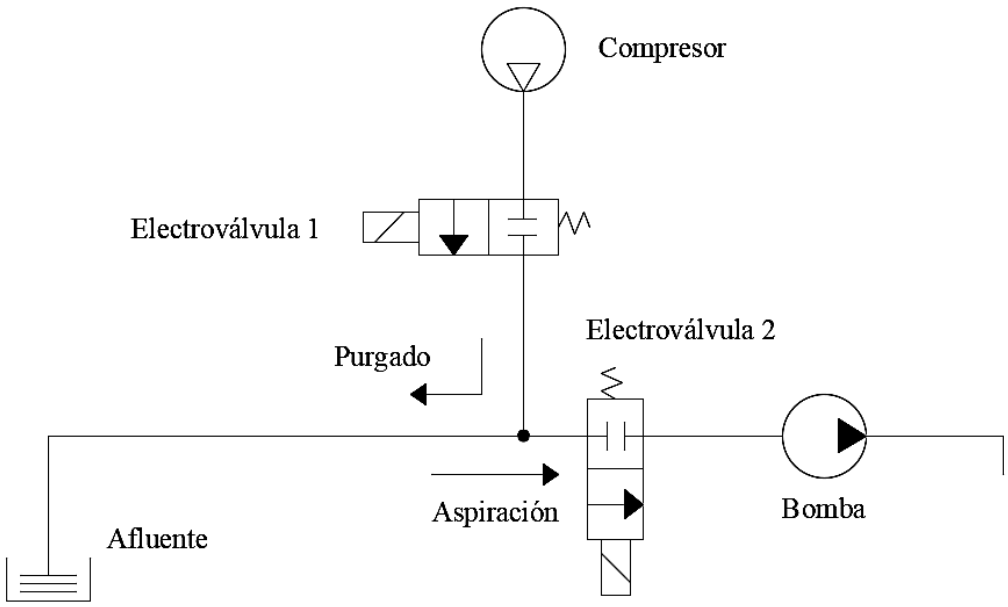


Figura 56: Diagrama del sistema de aspiración y purgado.

Fuente: El autor

6.8.1 Selección de la bomba.

De acuerdo a las características que debe tener un equipo de muestreo según la norma (NTE-INEN-2176, 2013) la entrada mínima debe ser de 12mm lo cual se cumple con la boquilla de aspiración. Para el diseño, se adopta una velocidad de flujo (V_f) de: $V_f = 1\ \frac{m}{s}$ que está dentro del rango recomendado (por la norma NTC-ISO-5667-6), con esto, mediante la Ecuación (26) se calcula el caudal que debe circular por la manguera de aspiración:

$$Q = A.V_f$$

Primeramente, se calcula el área de la tubería circular (manguera), sabiendo que el diámetro interno de la misma es: D=9,5mm=0,0095m

$$A = \pi.\frac{D^2}{4} = \pi.\frac{(0{,}0095)^2}{4} = 7{,}08 \times 10^{-5} m^2$$

Sustituyendo valores se obtiene el caudal:

$$Q = (7{,}08 \times 10^{-5} m^2) \times (1\ m/s)$$

$$Q = 7{,}08 \times 10^{-5}\frac{m^3}{s} = 0{,}0000708\frac{m^3}{s}$$

Transformando:

$$Q = 0{,}0708\ \frac{l}{s} = 4{,}25\,\frac{l}{min}$$

Para la construcción del prototipo se adopta una diferencia máxima de alturas (ΔZ) de 1 metro entre la ubicación de la bomba en el muestreador y la boquilla de aspiración como se muestra en la Figura 57:

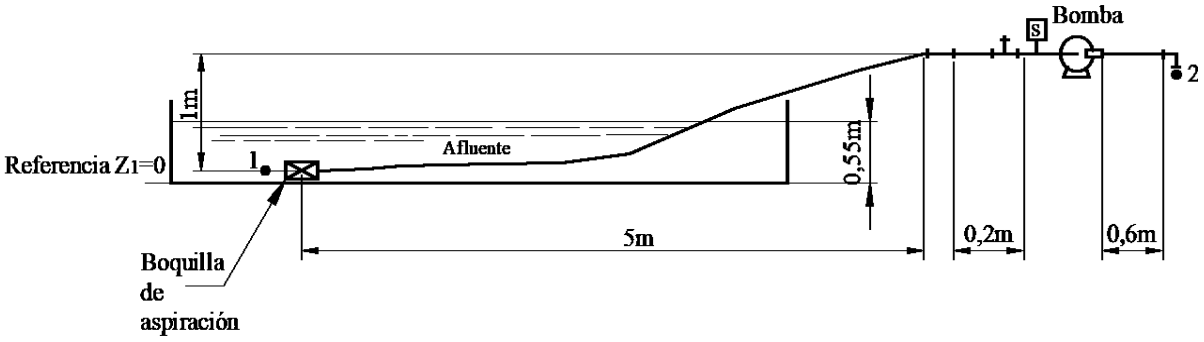


Figura 57: Esquema hidráulico del muestreador.

Fuente: El autor

Se realiza la ecuación de Bernoulli (28) desde el punto 1 hasta el punto 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_m - \cancel{H_t} = \cancel{\frac{P_2}{\gamma}} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_f$$

Se anula los términos de la presión 2 y Ht, entonces la altura manométrica de la instalación es:

$$H_m = (z_2 - z_1) - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{fp_a} + h_{fs_a} + h_{fp_i} + h_{fs_i} \qquad (76)$$

Donde:

h_{fp_a}= Pérdidas primarias en la aspiración.

h_{fs_a} = Pérdidas secundarias en la aspiración.

h_{fp_i}= Pérdidas primarias en la impulsión.

h_{fs_i}= Pérdidas secundarias en la impulsión.

Se calcula las pérdidas primarias en la aspiración y en la impulsión haciendo uso de la Ecuación (32).

Pérdidas primarias en la aspiración:

$$h_{fp_a} = f\frac{L_a \mathrm{V}^2}{D_a 2g} = f\frac{8L_a Q^2}{\pi^2 g D^5}$$

Para este cálculo se consideran los siguientes datos:

Longitud de la aspiración (L_a) = 5,2 m

Diámetro interno de la aspiración D_a = 0,0095m

Velocidad del fluido dentro de la tubería (V) = 1 m/s

Viscocidad cinemática ν = 0,895 x 10^{-6} m^2 /s correspondientes al agua a 25°C (ANEXO 5).

Primeramente se calcula ε/D; del ANEXO 7 se determina que el valor de $\varepsilon = 0{,}0007$ cm para la tubería de PVC y PE, entonces:

$$\frac{\varepsilon}{D_a} = \frac{0{,}0007\ cm}{0{,}95\ cm} = 7{,}36 \times 10^{-4}$$

A continuación se calcula el número de Reynolds para determinar si el flujo es laminar o turbulento:

$$Re = \frac{\mathrm{V}D_a}{\nu} = \frac{(1\ m/s)(0{,}0095\ m)}{0{,}895\ \times 10^{-6}\ m^2/s} = 10614{,}5$$

Como se puede constatar, el valor de Re > 4000, por lo tanto el flujo es turbulento y f se puede calcular con la Ecuación (34) para el flujo turbulento:

$$f = \frac{0{,}25}{\left[log\left(\frac{\varepsilon/D}{3{,}7} + \frac{5{,}74}{Re^{0{,}9}}\right)\right]^2} = \frac{0{,}25}{\left[log\left(\frac{7{,}36 \times 10^{-4}}{3{,}7} + \frac{5{,}74}{10614{,}5^{0{,}9}}\right)\right]^2} = 0{,}0318$$

Reemplazando estos valores en la ecuación para las pérdidas primarias en la aspiración se obtiene que éstas son:

$$h_{fp_a} = f\frac{L_a \mathrm{V}^2}{D_a 2g} = 0{,}0318\frac{5{,}2\ m(1m/s)^2}{0{,}0095m \times 2 \times (9{,}81m/s^2)} = 0{,}89m$$

Para calcular las pérdidas primarias en la impulsión, se considera el mismo número de Reynolds y el mismo factor f, puesto que la tubería es del mismo diámetro y del mismo material, entonces se tiene los siguientes datos:

Longitud de la impulsión (L_i) = 0,6 m

Diámetro interno de la impulsión D_i = 0,0095m

Velocidad del fluido (V) = 1 m/s

Sustituyendo los valores se obtiene las pérdidas primarias en la impulsión:

$$h_{fp_i} = f\frac{L_i \mathrm{V}^2}{D_i 2g} = 0{,}0318\frac{0{,}6\,m(1m/s)^2}{0{,}0095m \times 2 \times (9{,}81m/s^2)} = \ 0{,}10\,m$$

Seguidamente se calculan las pérdidas secundarias en la aspiración e impulsión, para ello se detalla los elementos existentes en cada sección y su coeficiente de pérdidas de acuerdo al ANEXO 8.

Sección	Elemento	Coeficiente k
Aspiración	1 Filtro de entrada	1,0
	1 Tee (sin cambio de dirección)	0,35
	1 Unión	0,3
	1 Electroválvula	0,4
	$\sum \mathrm{k_a}$	2,05
Impulsión	1 Codo de 90°	0,4
	$\sum \mathrm{k_i}$	0,4

Sustituyendo valores en la Ecuación (36), las pérdidas secundarias en la aspiración son:

$$h_{fsa} = \sum \mathrm{k_a}\frac{\mathrm{V}^2}{2g} = (2{,}05)\frac{\left(1\frac{m}{s}\right)^2}{2\left(\frac{9{,}81m}{s^2}\right)} = \ 0{,}1m$$

Y las pérdidas secundarias en la impulsión son:

$$h_{fsi} = \sum \mathrm{k_i} \frac{\mathrm{V}^2}{2g} = (0{,}4) \frac{\left(1\frac{m}{s}\right)^2}{2\left(\frac{9{,}81m}{s^2}\right)} = 0{,}02m$$

Sustituyendo valores en la Ecuación (76):

$$H_m = (1\mathrm{m} - 0m) - \frac{\left(\frac{997kg}{m^3}\right)\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)(0{,}55m)}{\left(\frac{997kg}{m^3}\right)\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} - \frac{(1m/s)^2}{2\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} + \frac{(1m/s)^2}{2(9{,}81\ m/s^2)} + 0{,}89m$$

$$+ 0{,}1m + 0{,}10m + 0{,}02m$$

$$H_m = 1{,}56\ m$$

Una vez determinado este valor se procede a calcular la potencia de la bomba necesaria para la instalación, del ANEXO 6 la densidad del agua a 25°C es $\rho = 997\ kg/m^3$ por lo que su peso específico $\gamma = 9780{,}57$

$$P_B = \gamma \times H_m \times Q = 9780{,}57\ N \times 1{,}56m \times 7{,}08 \times 10^{-5}\frac{m^3}{s}$$

$$P_B = 1{,}08\ W$$

Por lo que las características mínimas que debe poseer la bomba son:

- Caudal: 5 l/min (0,083 l/s).
- Voltaje de Trabajo: 12 VDC.

Por lo se ha consultado la disponibilidad en el mercado local y se ha seleccionado una bomba de micro diafragma (Figura 58) que cumple con estas cararacterísticas.

Figura 58: Bomba de agua micro diafragma.

Fuente: Singflo®

Luego con los datos de la bomba se calcula el tiempo de llenado de la botella, que según la norma (NTE-INEN-2176, 2013) el volumen recolectado debe ser de 0,5 litros.

$$Q = \frac{V}{t}\ ;\ t = \frac{V}{Q} = \frac{0{,}5\ l}{0{,}083\ l/s} = 6\ s$$

6.8.2 Selección del compresor para el purgado de la manguera de aspiración del muestreador.

Según el literal e) del Anexo A de la norma NTE INEN 2176 se debe purgar las líneas de abastecimiento para recibir agua fresca. Para este propósito se empleará un mini compresor. Se propone una velocidad de purgado de 1 m/s, se conoce que el diámetro interno de la manguera de aspiración es de 9,5mm y tiene un área de$7{,}08 \times 10^{-5} m^2$, se procede a calcular el caudal de aire necesario mediante la Ecuación (26):

$$Q = A.V$$

$$Q = (7{,}08 \times 10^{-5} m^2)(1\ m/s)$$

$$Q = 7{,}08 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$Q = 0{,}0708\ l/s\ = 4{,}25\ l/min$$

Por lo que debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Funcionamiento con 12 V DC.
- Caudal mínimo de 4,25 l/min.

Se ha consultado en el mercado de la localidad y se seleccionó un mini compresor cuyas características se aproximan a los requerimientos (Figura 59):

- Funcionamiento con 12 V DC.
- Caudal 6 l/min.

Figura 59: Mini compresor de aire.

Fuente: Distribuidora Vásquez

6.9 Diseño del sistema de posicionamiento de la manguera para el llenado de las botellas

El sistema de posicionamiento permitirá colocar la manguera en dirección de la boca de la botella para realizar su llenado. Este sistema estará constituido por un motor paso a paso que llevará acoplado a su eje una varilla en la cual estará sujeta la manguera (Figura 60), el motor tendrá un ángulo de trabajo de 315°.

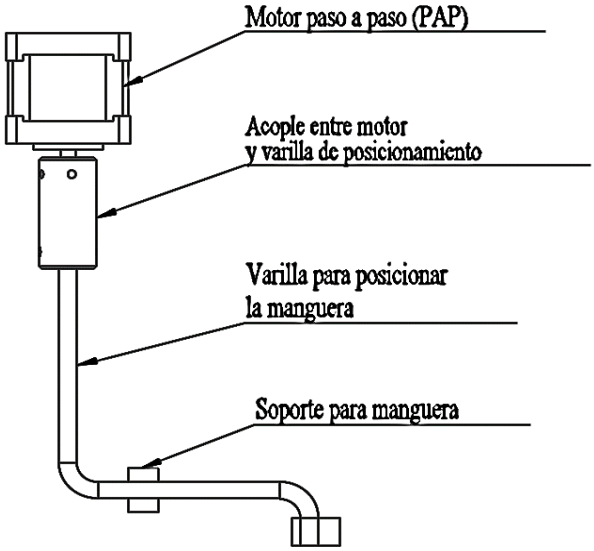


Figura 60: Sistema de posicionamiento de la manguera.

Fuente: El autor

6.9.1 Cálculo de la potencia del motor paso a paso.

El motor paso a paso será el encargado de mover la varilla de posicionamiento junto con la manguera, por lo tanto deberá contar con la potencia suficiente para trabajar sin demasiado

esfuerzo. Para esto, primeramente es necesario calcular los momentos de inercia del acople y la varilla.

6.9.1.1 Momento de Inercia del acople

Por su geometría, para determinar el momento de inercia del acople, se lo ha dividido en parte superior e inferior (Figura 61) (cotas en mm).

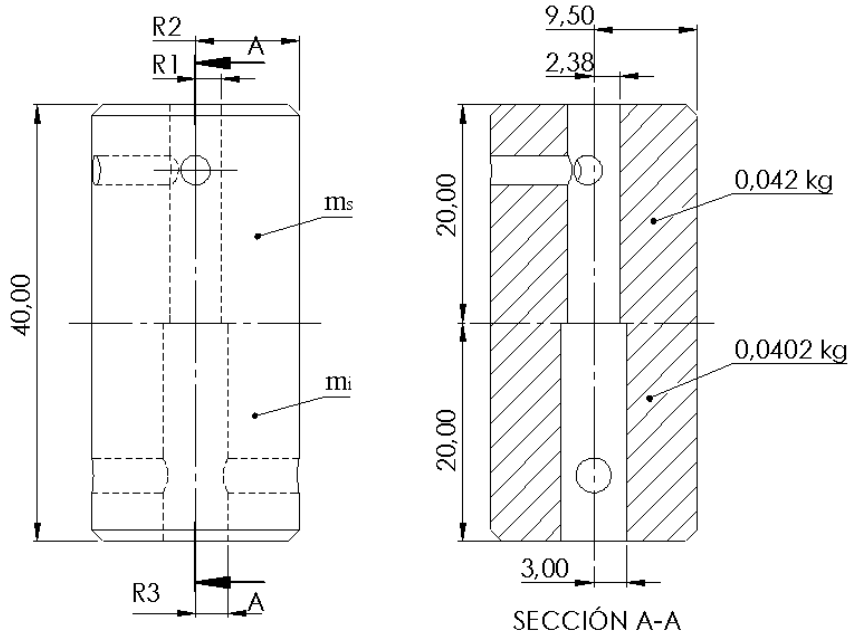


Figura 61: Acople entre el eje del motor y la varilla de posicionamiento de la manguera.

Fuente: El autor

En base a la Figura 12, sustituyendo valores, en la Ecuación (42) se obtiene el momento de inercia del acople:

$$I_{acople} = \frac{1}{2} m_s (R_1^2 + R_2^2) + \frac{1}{2} m_i (R_2^2 + R_3^2) \tag{77}$$

$$I_{acople} = \frac{1}{2}(0{,}042kg)(0{,}00238m^2 + 0{,}0095m^2) + \frac{1}{2}(0{,}0402kg)(0{,}0095m^2 + 0{,}003m^2)$$

$$I_{acople} = 4{,}01 \times 10^{-6} kg\ m^2$$

6.9.1.2 Momento de inercia de la varilla de posicionamiento

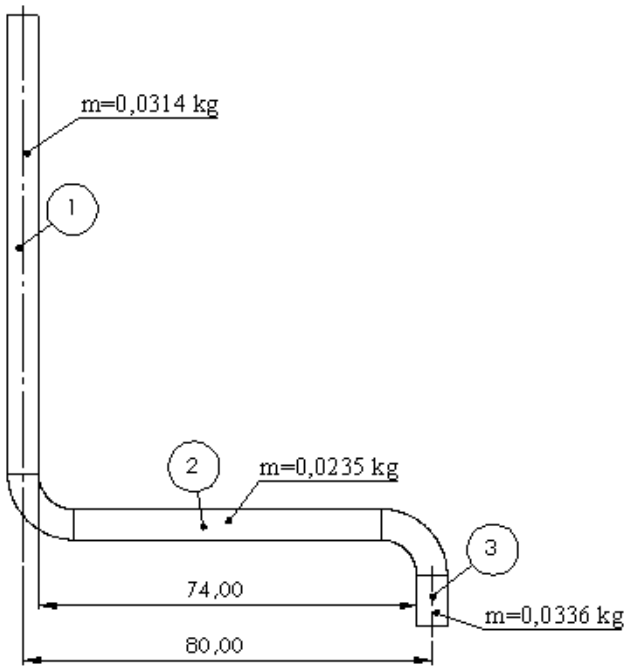


Figura 62: Varilla de posicionamiento de la manguera.

Fuente: El autor

Debido a la geometría de la varilla de posicionamiento (Figura 62), se la ha dividido en tres partes, por lo que el momento de inercia de la misma, será la suma de los momentos de cada sección.

$$I_{varilla} = \sum I_1 + I_2 + I_3 \quad Ec. \tag{78}$$

El momento de inercia de la sección 1(Figura 62), se calcula con la siguiente ecuación (de acuerdo a la figura Figura 13):

$$I_1 = \frac{1}{2} m R^2 \tag{79}$$

Siendo R el radio de la varilla, es decir 3 mm(0,003m), entonces sustituyendo valores en (79):

$$I_1 = \frac{1}{2}(0{,}0314\ kg)(0{,}003m)^2 = 1{,}41 \times 10^{-7}\ kg\ m^2$$

Seguidamente el momento de inercia de la sección 2 se calcula mediante la ecuación:

$$I_2 = \frac{1}{3} m l^2 \tag{80}$$

Siendo *l* la longitud de la sección 2, es decir 74 mm(0,074m), sustituyendo valores en (42):

$$I_2 = \frac{1}{3}(0{,}0235kg)(0{,}074m)^2 = 4{,}3 \times 10^{-5}\ kg\ m^2$$

A continuación, se calcula el momento de inercia de la sección 3 mediante la siguiente ecuación:

$$I_3 = mr^2 \tag{81}$$

Siendo r la distancia entre ejes verticales, es decir 80 mm (0,08m), sustituyendo valores en la Ecuación (42) se tiene:

$$I_3 = (0{,}0336kg)(0{,}08m)^2 = 2{,}2 \times 10^{-4} kg\ m^2$$

Por lo que, sutituyendo valores en la Ecuación (78) el momento de inercia total de la varilla es:

$$I_{varilla} = 1{,}41 \times 10^{-7}\ kg\ m^2 + 4{,}3 \times 10^{-5}\ kg\ m^2 + 2{,}2 \times 10^{-4} kg\ m^2$$

$$I_{varilla} = 2{,}63 \times 10^{-4}\ kg\ m^2$$

A continuación, se obtiene el momento de inercia del conjunto varilla y acople:

$$I_{v,a} = I_{acople} + I_{varilla} = 4{,}01 \times 10^{-6} kg\ m^2 + 2{,}63 \times 10^{-4}\ kg\ m^2$$

$$I_{v,a} = 2{,}67 \times 10^{-4}\ kg\ m^2$$

Siguiendo con el procedimiento para determinar la potencia del motor paso a paso, es necesario hallar la aceleración angular, para luego encontrar el torque y finalmente calcular la potencia requerida del motor.

Para la aceleración angular ($\propto$) se tiene los siguientes datos:

Velocidad angular inicial: $\omega_0 = 0\ \frac{rad}{s}$

Velocidad angular final: $\omega = 60\ rpm = 6{,}28\ \frac{rad}{s}$

Tiempo en que se alcanza la velocidad angular: $t = 0{,}2\ s$

Entonces, sustituyendo valores en la Ecuación (64):

$$\propto = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \frac{6{,}28\ \frac{rad}{s} - 0\ \frac{rad}{s}}{0{,}2\ s} = 31{,}4\ \frac{rad}{s^2}$$

Con este dato, se puede hallar el torque necesario para girar el acople y la varilla mediante la Ecuación (42):

$$T_{v,a} = I_{v,a} \times \propto = 2{,}67\ \times\ 10^{-4}\ kg\ m^2 \times 31{,}4\ \frac{rad}{s^2} = 8{,}38 \times 10^{-3}\ Nm$$

Se determinó que para girar y doblar un poco la manguera (80°) es necesario un torque de 0,4 Nm, por lo que el torque total necesario es:

$$T = T_{v,a} + 0{,}4\ Nm = 8{,}38\ \times 10^{-3}\ Nm + 0{,}4 Nm = 0{,}408\ Nm$$

Entonces, la potencia nominal del motor se calcula con la Ecuación (64) :

$$P_N = T \times \omega$$

$$P_N = 0{,}408\ Nm \times 6{,}28\ \frac{rad}{s} = 2{,}56\ W$$

Para calcular la potencia requerida del motor paso a paso se multiplicará la potencia nominal que se determinó previamente por un factor de servicio. Del ANEXO 10 se selecciona un factor de servicio de 1,25 que es el recomendado para mecanismos de giro que emplean un motor eléctrico.

Haciendo uso la Ecuación (65) se determina la potencia de diseño.

$$P_D = P_N\ F_s$$

$$P_D = 2{,}56W\ \times 1{,}25 = 3{,}2\ W$$

Finalmente para la selección del motor paso a paso se debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Voltaje de trabajo: 12 VDC.
- Torque: 0,408 Nm.

De la búsqueda de opciones en el mercado local, se seleccionó un motor paso a paso Nema 17 bipolar (Figura 63) cuyas características se aproximan a los requerimientos:

- Voltaje de trabajo: 12 VDC.
- Torque: 0,9 Nm.
- 1,8° por paso.

Figura 63: Motor paso a paso Nema 17

Fuente: Electronics Ecuador

6.10 Cálculos eléctricos

El sistema eléctrico del muestreador permitirá alimentar con energía a todos los elementos eléctricos del mismo, por lo que es importante su correcto dimensionamiento. Está conformado por una fuente de poder de 12V DC, la cual convertirá los 110 V AC de la red eléctrica a 12 V DC para que funcionen la bomba, las electroválvulas, el compresor, el motor paso a paso, la tarjeta de control con su módulo relé y la pantalla LCD,(ver ANEXO 11 para el esquema detallado de la conexión).

6.10.1 Dimensionamiento de la fuente de poder

Según el Anexo A de la norma INEN 2176, el equipo para el muestreo en el campo debe ser capaz de “operar en corriente ac/dc”. Los elementos eléctricos del muestreador funcionan con 12V de corriente continua (DC), por lo tanto, para que funcionen con corriente AC es necesario utilizar una fuente que convierta la corriente AC a DC. Para determinar la potencia de dicha fuente se realiza los cálculos respectivos.Primeramente se calcula la potencia de cada uno de los elementos eléctricos del muestreador (Tabla *17*).

Tabla 17
Elementos eléctricos del muestreador.

N°	Elemento	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	Bomba de agua	12	4.5	54
1	Compresor de aire	12	3	36
2	Electroválvula	12	0,5 * 2	12
1	Tarjeta Arduino	12	0,22	2,64
1	Motor paso a paso (PAP)	12	1,2	14,4
		TOTAL	9,92	119,04

Fuente: El autor

Por lo que se selecciona una fuente de poder de 12 VDC 10 A autoprotegida contra sobrecargas.

6.10.2 Dimensionamiento de la batería.

Para trabajar en lugares alejados del suministro de energía de la red eléctrica, se dimesiona la batería que suministrará energía hasta por 3,5 horas (tiempo en que se recolectará una muestra compuesta) a los elementos eléctricos del muestreador, por ello, es necesario conocer el consumo de energía, que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 18
Estimación del consumo de los elementos eléctricos.

Elemento	Potencia (W)	Horas /Func.	Consumo Wh
Bomba de agua	54	0,16	8,64
Compresor de aire	36	0,16	5,76
Electroválvulas	12	0,16	1,92
Arduino	2,64	3,5	9,24
Motor paso a paso (PAP)	14,4	3,5	50,4
		TOTAL ENERGÍA DC	75,96

Fuente: El autor

Considerando un rendimiento de la batería de 95%, la energía total consumida es:

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$E_T = \frac{75{,}96}{0{,}95} = 79{,}95\ Wh$$

La batería no deberá superar el 75% de profundidad de descarga (Pd) entonces la capacidad de la batería se determina mediante la Ecuación (70):

$$Cn(Wh) = \frac{E_T}{P_d}$$

$$Cn(Wh) = \frac{79{,}95\ Wh}{0{,}75} = 106{,}6\ Wh$$

Y en amperios hora la capacidad de la batería se determina mediante la Ecuación (71):

$$Cn(Ah) = \frac{Cn(Wh)}{V_{BAT}}$$

Sustituyendo valores:

$$Cn(Ah) = \frac{106{,}6\ Wh}{12} = 8{,}88\ Ah$$

Redondeando, la batería deberá tener una capacidad mínima de 9 Ah para trabajar las 3,5 horas.

6.11 Construcción de la estructura y descripción de la propuesta de control

6.11.1 Construcción

La construcción de la estructura del prototipo del muestreador donde están montados los elementos necesarios para ejecutar el muestreo se realizó con materiales comerciales disponibles en el mercado local (Plancha de acero inoxidable AISI 430, electrodos, aislante fibra de vidrio, etc.) y se utilizó tecnología a disposición como por ejemplo, roladora y soldadura eléctrica de arco existente en el taller mecánico de la Universidad. En el ANEXO 16 se muestran algunas fotografías del proceso construcción.

6.11.2 Descripción de la propuesta de control

El sistema de control permitirá transferir el proceso de recolección de muestras a una tarjeta electrónica (Arduino) de tal manera que una sola persona podrá realizar el proceso de muestreo de manera sencilla. El prototipo de recolección de muestras es una máquina de dos etapas con el siguiente procedimiento:

El operario desmonta el módulo 1 del módulo 2 y coloca manualmente las botellas en la estructura para sujeción de las mismas (canastilla) que se encuentra en el módulo 1. Luego de ser posicionadas vuelve a montar el módulo 2 sobre el módulo 1 y los asegura mediante broches.

En la segunda etapa el operario debe seleccionar el tipo de muestra a recolectar, se ejecutará el programa de la tarjeta de control, primeramente se purgará automáticamente la manguera de aspiración para luego mediante la bomba, llenar la botella (o botellas) con el volumen de agua seleccionado.

Para efectuar el purgado de la manguera de aspiración y la recolección de la muestra, el prototipo cuenta con los siguientes accionamientos:

- Motor paso a paso del sistema de posicionamiento de la manguera y driver A4988.
- Bomba de micro diafragma.
- Mini Compresor.
- Electroválvula de paso de agua de aspiración.
- Electrovávula de paso de aire para purgado de la manguera.

Para establecer las condiciones adecuadas y conseguir que el prototipo cumpla con la acción deseada, se instalaron los siguientes accesorios de control:

En el módulo 2:

- Final de carrera, que permite establecer el punto de inicio para el llenado de la primera botella.

En el módulo 3:

- Selector de dos posiciones, para el encendido y apagado del prototipo.
- Tarjeta Arduino, programada de tal manera que permite recolectar una muestras simple así como una muestra compuesta.
- Shield Keypad LCD que va montada sobre la tarjeta Arduino y permitirá seleccionar las diferentes opciones del menú haciendo el uso de botones de la misma (Figura 64).

Figura 64: Shield keypad LCD para Arduino

Fuente: Tienda de electrónica “Mgsystem”

- Módulo relé de dos canales (Figura 65), que permite la activación y desactivación de los elementos tales como la bomba, el compresor y las electroválvulas.

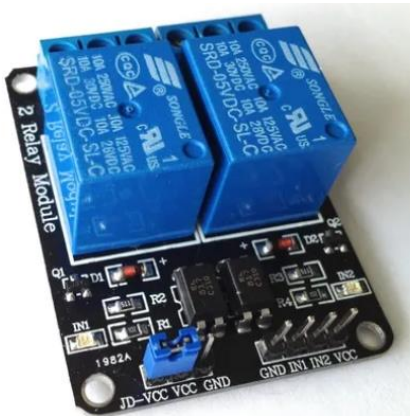


Figura 65: Módulo relé 2 canales 5V.

Fuente: Tienda online de artículos de electrónica “Electronics”

- Módulo reductor de voltaje para la alimentación de Arduino y otros componentes.

6.11.3 Selección de la tarjeta de control

Para seleccionar la tarjeta de control se tiene en cuenta los elementos de entrada y salida:

- Entrada: Final de carrera (1 pin digital); teclado de la Shield Keypad (1 pin analógico).
- Salida: Módulo relé de dos canales (2 pines digitales); Driver A4988 (2 pines digitales), pantalla LCD de la Shield Keypad (6 pines digitales).

Puesto que la Shield Keypad LCD está diseñada para usarse sobre la placa Arduino Uno se selecciona ésta, ya que también cuenta con 14 pines entrada/salida digitales de los cuales se usa 11 que permiten conectar los elementos antes mencionados y además dispone de 6 entradas analógicas, de las cuales se utiliza una.

6.12 Descripción del funcionamiento de prototipo de muestreador semi automático para la recolección de muestras de agua.

El encendido del prototipo se realiza mediante un selector de dos posiciones ubicado en el módulo 3, luego, del menú que se desplega en la pantalla, se deberá seleccionar el tipo de muestra a recolectar, haciendo uso del teclado de la Shield keypad LCD. La tarjeta Arduino ejecutará una parte del código, de acuerdo a la opción escogida del menú. En general, cuando se va a recolectar una muestra, automáticamente, a través del motor PAP se ubica la manguera en una posición tal que no esté en dirección de la botella, luego, mediante el módulo relé se acciona la electroválvula 1 y el compresor (ver Figura 56), para realizar el purgado de la manguera de aspiración, a continuación, se desactiva los mismos, el motor PAP busca la posición inicial donde se encuentra la botella, se acciona la electroválvula 2 y la bomba para recolectar el volumen seleccionado de la muestra y depositarla dentro de la misma.

Finalmente, después de terminado el proceso de recolección se mostrará un mensaje en pantalla, el operario procederá a desmontar el módulo 2 del módulo 1 para tapar la botella (o botellas) llena y montar otra vacía.

6.13 Diseño del programa de control

Para el diseño del programa que controla todos los elementos eléctricos del muestreador, se toma en cuenta las directrices d, e, g, j,o del Anexo A de la norma INEN 2176, de acuerdo a los mismos, se propone la siguiente estructura del programa (Tabla *19*), que se mostrará como un menú desplegable en la shield Keypad LCD.

Tabla 19
Elementos para la estructura del programa de control.

Elemento	Descripción
Intro	Muestra un mensaje al iniciar el programa
Muestra simple de 500 ml	Recolecta una muestra simple de 500 ml
Muestra simple de 1000 ml	Recolecta una muestra simple de 1000 ml
Muestra compuesta de 500 ml	Recolecta cuatro muestras de 500 ml dando un volumen total de 2000 ml.
Purgar la manguera	Evacúa el líquido que se encuentre en la manguera de aspiración.

Fuente: El autor

Algunos elementos del menú tendrán un sub menú, como se muestra en la Figura 66:

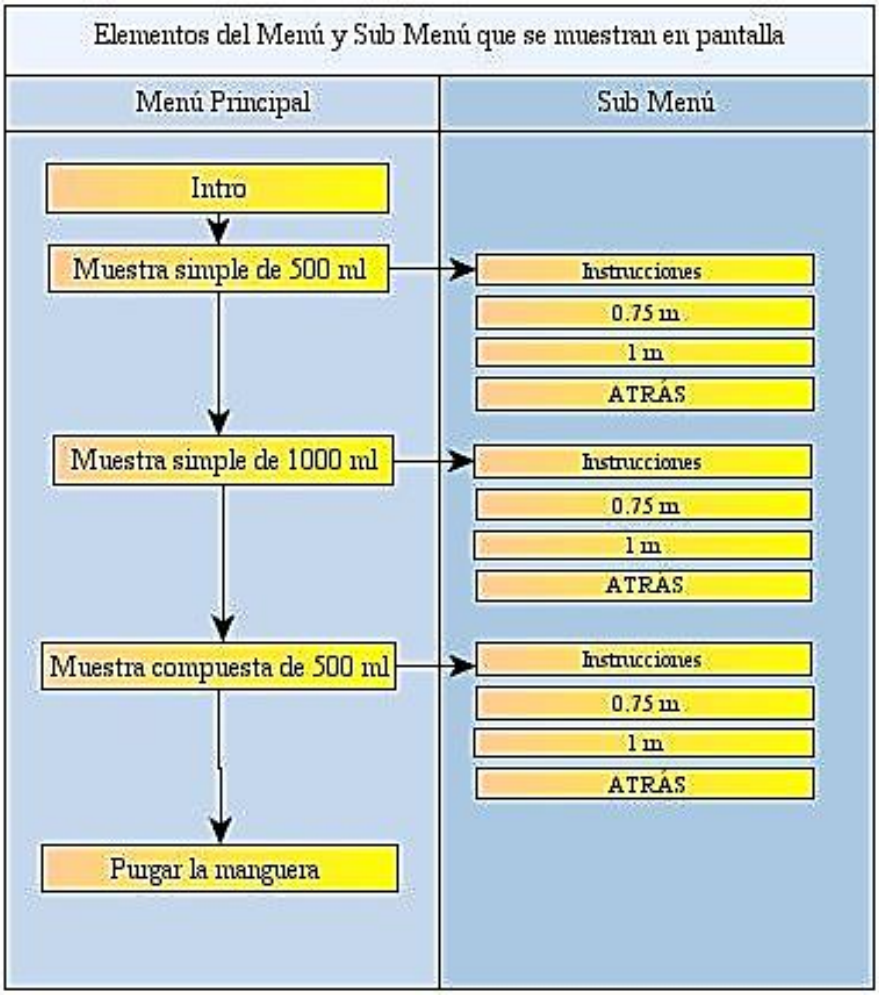


Figura 66: Elementos del menú y sub menú.

Fuente: El autor

El elemento “Instrucciones” del sub menú, muestra un mensaje indicando que se debe seleccionar la altura de bombeo para iniciar el proceso de recolección de la muestra, los valores de “0,75 m” y “1 m” representan la altura de bombeo, de acuerdo a este parámetro se enciende la bomba un tiempo predeterminado para realizar el llenado de l botella con el volumen seleccionado. La opción “ATRÁS” permite salir del sub menú y regresar al menú principal.

Para describir el funcionamiento de manera sencilla, la estructura lógica general para el programa se muestra en la Figura 67. En el ANEXO 14 se muestra el código del programa que cumple con este esquema.

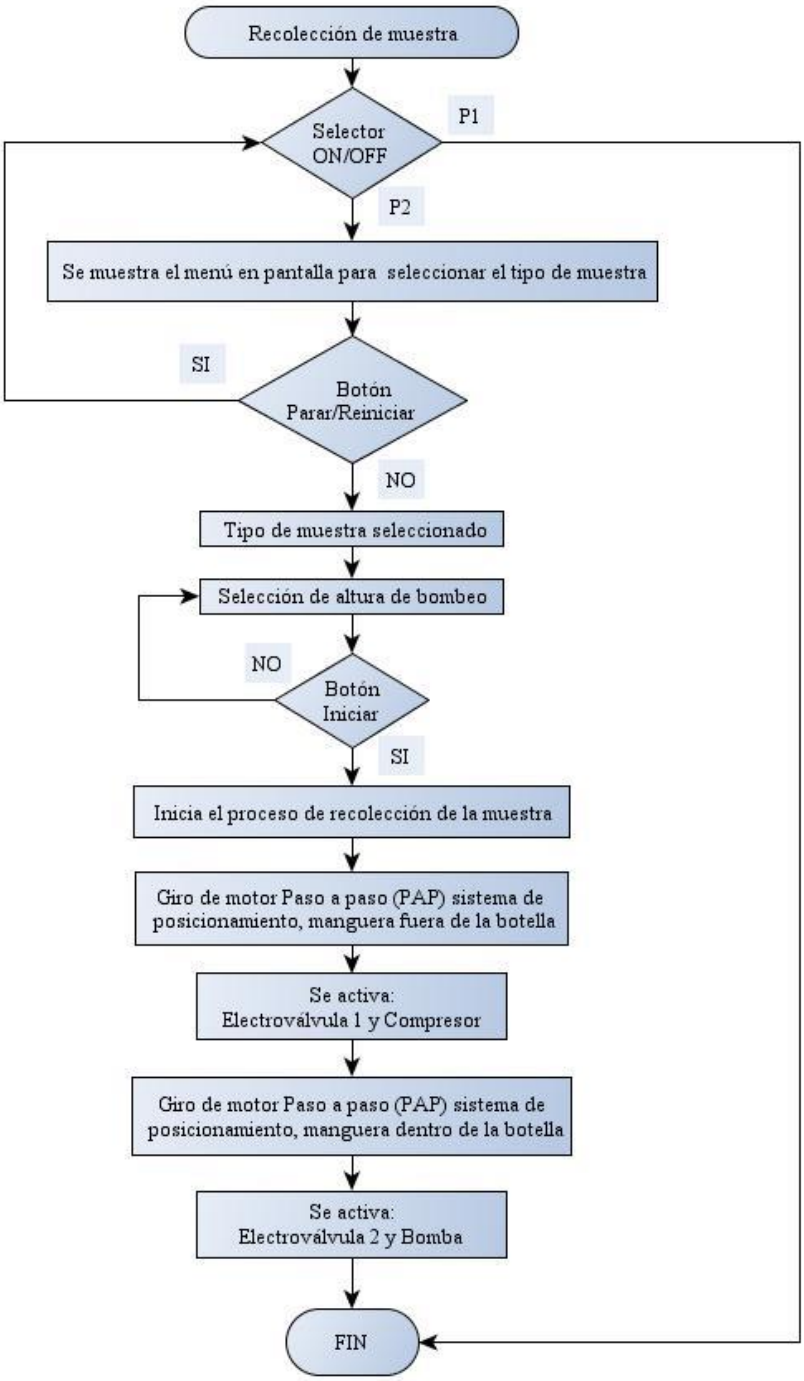


Figura 67: Esquema lógico del programa de control.

Fuente: El autor

En la Figura 68 se muestra el proceso para el elemento “muestra simple de 500 ml” del menú, una vez que se haya seleccionado la altura de bombeo, donde t representa el tiempo, (10 s para purgar la manguera y de llenado: 23 s para la altura de 0,75m y 25 s para la altura de 1m).

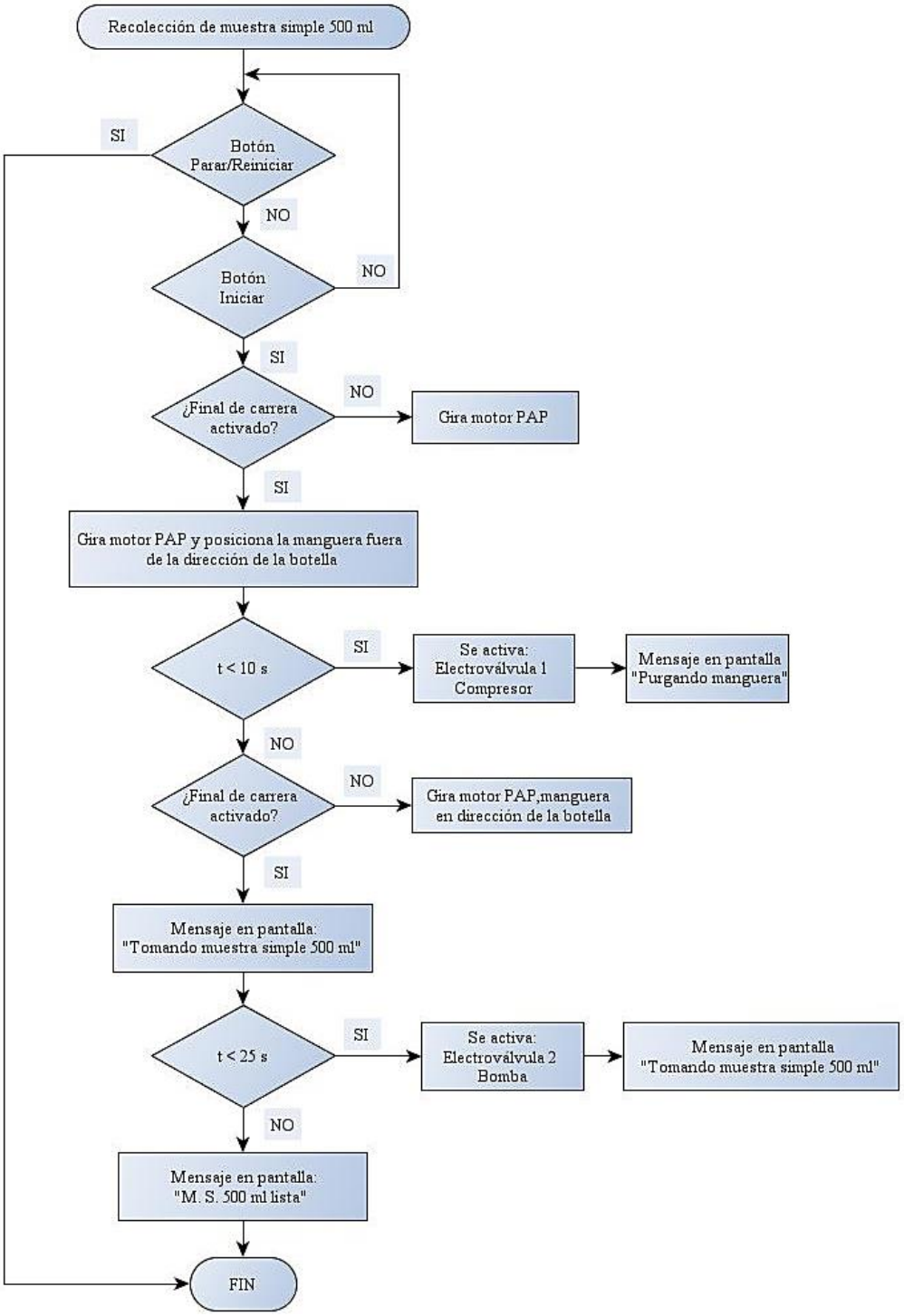


Figura 68: Procedimiento para el elemento Muestra simple 500 ml del menú.

Fuente: El autor

En la Figura 69 se muestra el proceso para el elemento “muestra simple de 1000 ml” del menú, donde t representa el tiempo. (10 s para purgar la manguera y de llenado: 30 s para la altura de 0,75m y 32 s para la altura de 1m).

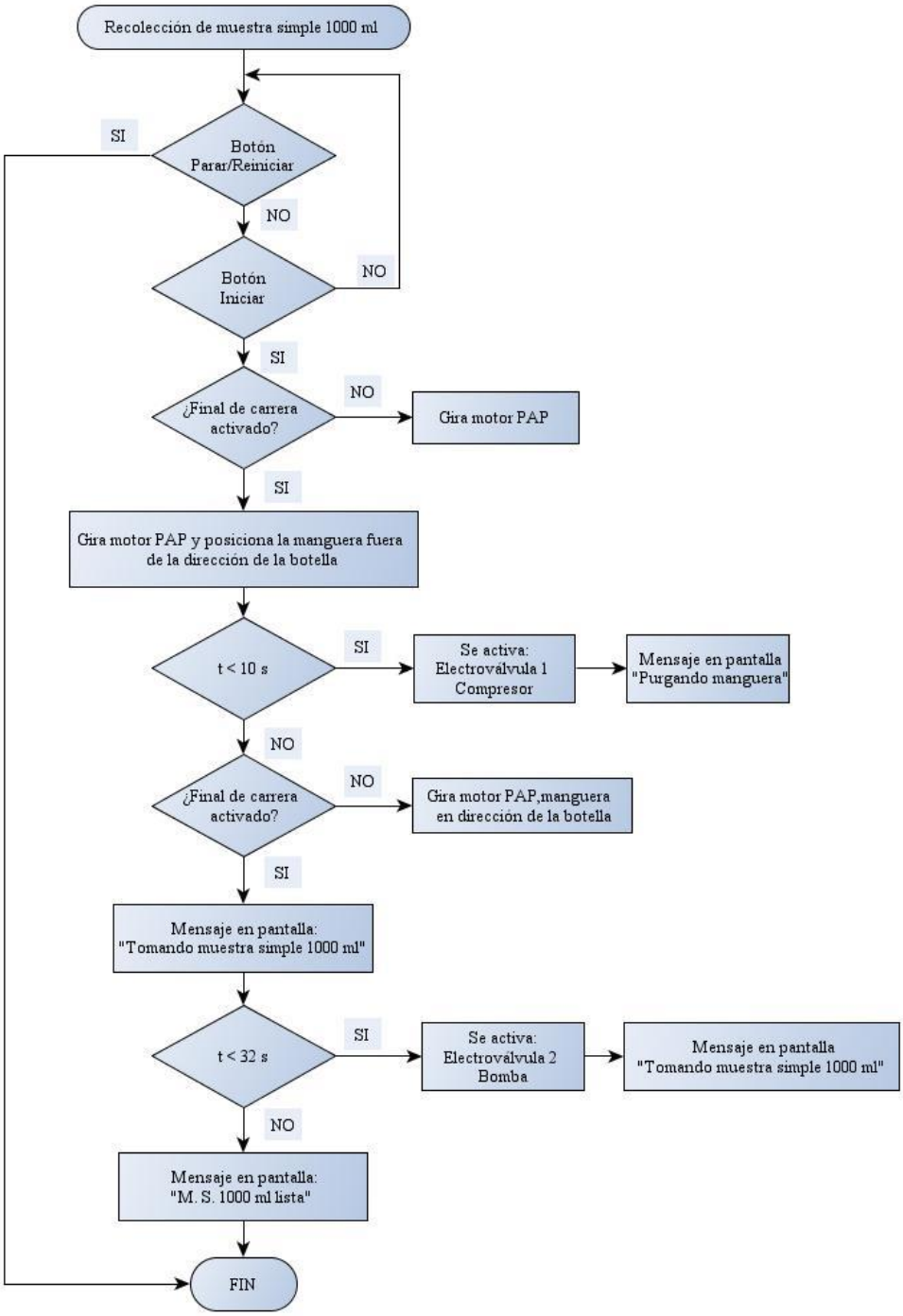


Figura 69: Procedimiento para el elemento Muestra simple 1000 ml del menú.

Fuente: El autor

En la Figura 70 se muestra el proceso para el elemento “muestra compuesta de 500 ml” del menú, donde t representa el tiempo (intervalo de 1 hora entre la toma de una muestra y la siguiente; 10 s para purgar la manguera y de llenado: 23 s para la altura de 0,75m y 25 s para la altura de 1m).

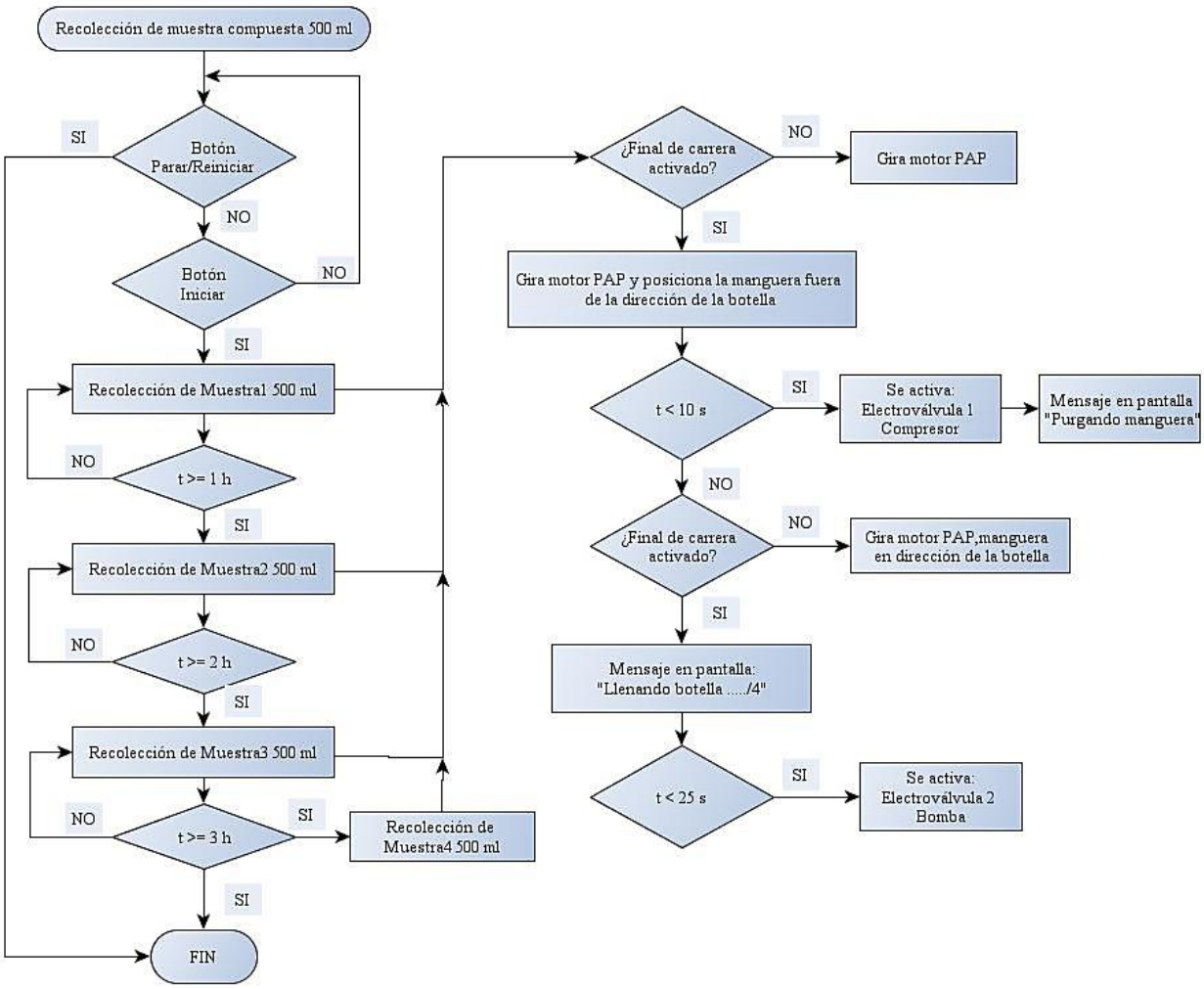


Figura 70: Procedimiento para el elemento Muestra compuesta 500 ml del menú.

Fuente: El autor

En la Figura 71 se muestra el proceso para el elemento “purgar manguera” del menú, donde t representa el tiempo que permanecerá encendido el compresor y la electroválvula 1.

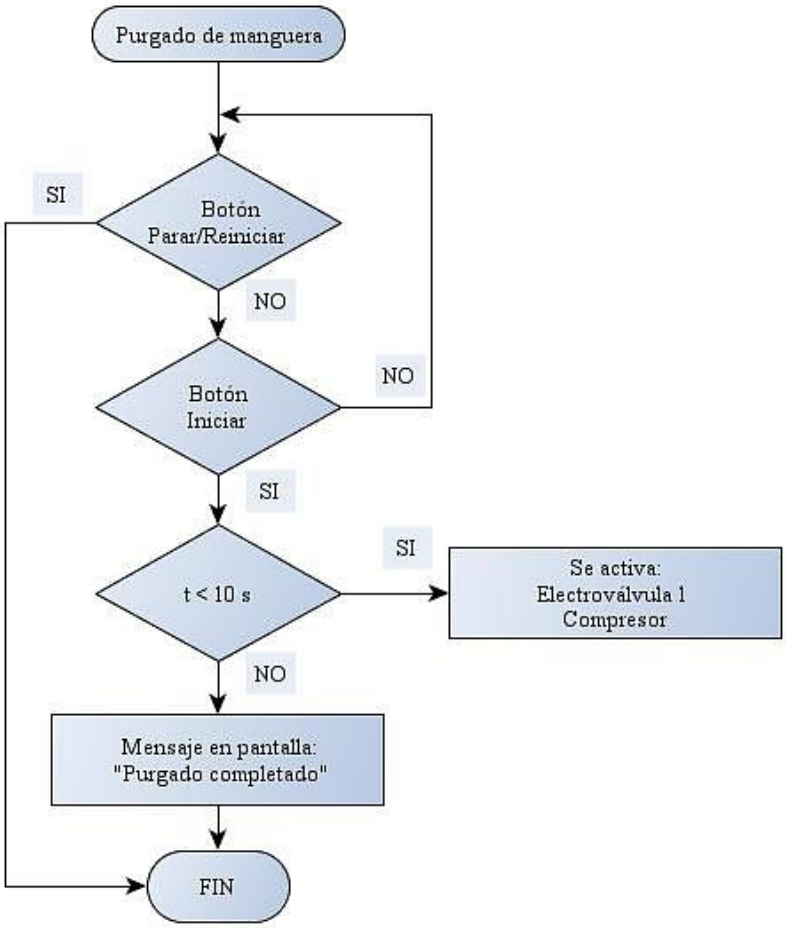


Figura 71: Procedimiento para el elemento “purgar manguera” del menú.

Fuente: El autor

Finalmente en la Figura 72 se muestra la representación en 3D del prototipo del muestreador con sus componentes, y en la *Tabla 20* se exponen los costos de los mismos y el precio total de la máquina.

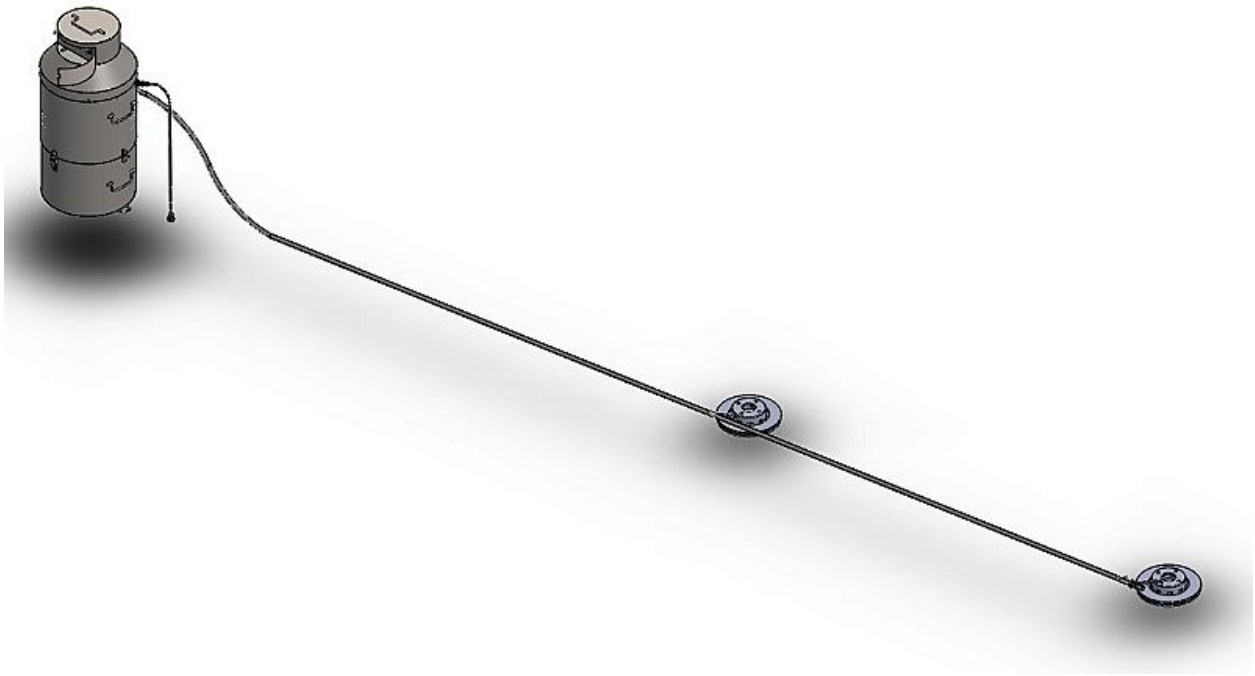


Figura 72: Prototipo del muestreador con sus componentes.

Fuente: El autor

Tabla 20
Costos de los elementos que constituirán el prototipo.

Costos de los elementos que constituirán el prototipo				
Elemento	Unidad	Longitud (m)	Precio USD	Total USD
Plancha de Acero Inoxidable AISI 430 1220mm x 2440 mm x 1mm	1		75	75
Electrodos para acero inoxidable 1/8”	35		0,40	14
Varilla redonda 3/8” de acero AISI 430	2		8	16
Varilla redonda 1/4” de acero AISI 430		1,5	4	4
Fibra Aislante (de vidrio)	5 lbs		5	5
Bujes de acero inoxidable AISI 430 para manijas	10		2	20
Clip sujetador de liberación rápida	2		5	10
Botella cilíndrica de polietileno 500 ml	4		0,60	2,40
Botella cilíndrica de polietileno 1000 ml	1		1	1
Mini compresor 6 l/min	1		18	18
Electroválvula ½” 12V DC	2		18	36
Unión para manguera de acero inoxidable 3/8”	1		3	3

Tee de acero inoxidable para manguera de 3/8”	1		3	3
Codo para manguera de 3/8”	1		3	3
Unión roscada para tubo de ½” de acero inoxidable	4		3	12
Bushing roscado reductor de ½” a 3/8” de acero inoxidable	4		1,5	6
Adaptador de tubo de 3/8” a manguera de 3/8” de acero inoxidable	4		4	16
Manguera de polietileno de 3/8”		1	20	20
Manguera para presión de 3/8”		1	1,25	1,25
Manguera de PVC no tóxica, grado alimenticio		5	2,50	12,50
Abrazaderas para manguera de 3/8”	13		0,35	4,55
Bomba de micro diafragma 12V DC	1		55	55
Filtro de aspiración 3/8” PVC para bomba	1		5	5
Cadena galvanizada de 3/16”		1	1	1
Socket IEC 320 C14 Macho 250V 10A	1	1,8	3,50	3,50
Cable de alimentación C14 hembra 1,8 m	1		2	2
Terminales planos hembra	7		0,15	1,05
Cable flexible #16		6	0,30	1,80
Selector de dos posiciones ON/OFF	1		3,5	3,50
Fuente de poder 110V AC- 12V DC 10A	1		14,80	14,80
Batería seca recargable 12V DC 10 Ah	1		25	25
Bridas plásticas	20		0,05	1
Tornillos tripa de pato N°8	30		0,03	0,9
Buje-Acople de 3/16” a ¼” para motor PAP	1		5	5
Motor paso a paso (PAP) Nema 17 6W	1		20	20
Módulo relé 5V 2 canales	1		3	3
Módulo reductor de voltaje 12V DC-5V DC 5A	1		8	8
Mini protoboard	1		2	2
Cables de conexión para Arduino y protoboard	2 paquetes		1,75	3,50
Condensador electrolítico 25 V 100 μF	1		0,50	0,50
Tarjeta Arduino UNO	1		40	40
Shield Keypad LCD Arduino	1		12	12
Rótulos	2		15	30
Mano de obra				500
Pesas de hierro	2		10	20
	TOTAL PRESUPUESTO			1041,25

Fuente: El autor

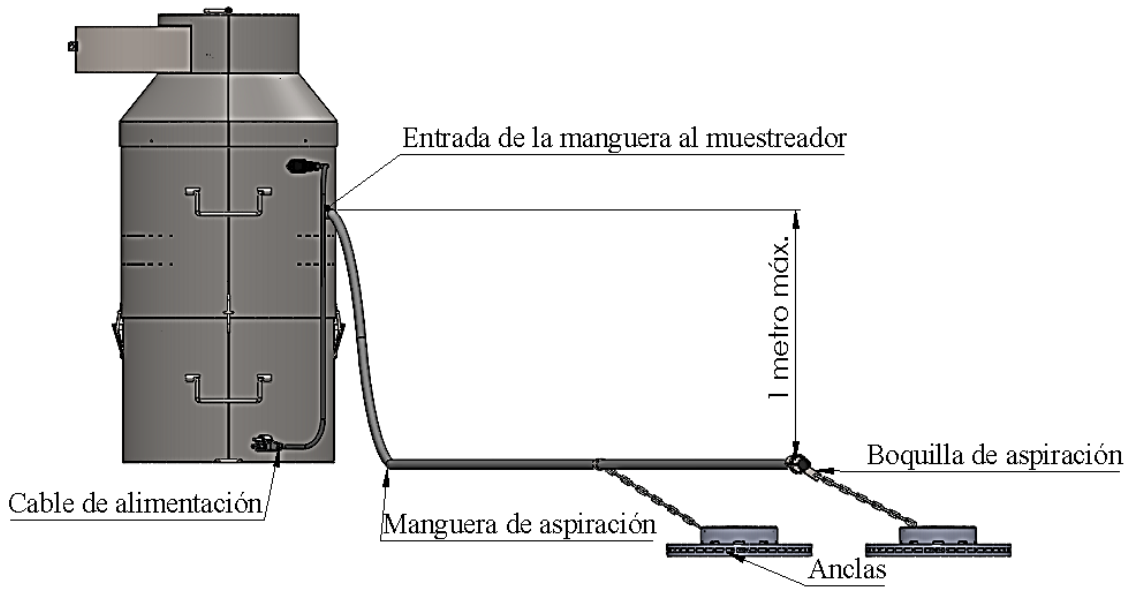
6.14 Validación del prototipo

Para la validación del prototipo, se ha recurrido a un afluente cercano a la ciudad de Loja, para conectar el equipo y realizar la recolección del volumen de la muestra y verificar que sea

el correcto. Se ha elaborado la Tabla *21* para anotar los aspectos más importantes al momento de realizar el muestreo.

Tabla 21
Datos a tomar en el punto de muestreo.

Solicitante/Programa:	
Provincia:	N° de Muestra:
Cantón:	Origen de la Fuente:
Localidad:	Punto de muestreo:
Fecha:	Hora del muestreo:
Tipo de muestra: Simple ____0,5 litros ___1 litro Compuesta ____2 litros	
Parámetros de Campo	
Temperatura. Ambiente: °C	
Velocidad de la corriente: m/s	
Profundidad de la corriente en el punto de muestreo _____ m	
Diferencia de altura entre el filtro de aspiración y la entrada de la manguera en el muestreador (máximo 1 metro) _____ m	



Fotografía del punto de muestreo:

Fuente: El autor

Para solucionar algunos inconvenientes que se han presentado al momento de la validación, se ha realizado la Tabla *22* donde se muestra los problemas encontrados y la solución aplicada:

Tabla 22
Inconvenientes presentados y solución aplicada al realizar la validación.

Problema encontrado	**Solución Aplicada**
No se llena la botella completamente	➢ Verificar que la altura entre la entrada de la manguera y el filtro de aspiración no sea mayor a 1 metro. ➢ Verificar que el filtro de aspiración esté completamente sumergido en la corriente. ➢ Ajustar correctamente la abrazadera de la entrada al muestreador. ➢ Verificar que se haya seleccionado la altura correcta en el menú para recolectar la muestra.
Volumen recolectado no se llena dentro de la botella	➢ Nivelar correctamente el muestreador. ➢ Verificar que el módulo 2 esté correctamente montado sobre el módulo 1.
Boquilla de aspiración se suelta.	➢ Ajustar correctamente la abrazadera del filtro de aspiración.
No se llenan todas las botellas cuado se recolecta la muestra compuesta	➢ Verificar y asegurarse que las botellas están correctamente colocadas en la estructura (canastilla) para este fin. Si las botellas no se encuentran correctamente posicionadas, provocarán que el sistema de posicionamiento de la manguera no gire y se quede atascado. ➢ Verificar que no se sobrepase la altura máxima (1 metro) entre la boquilla de aspiración y la entrada de la manguera al muestreador.

Fuente: El autor

Como punto de muestreo se ha seleccionado un lugar accesible, del curso del río Malacatos, a continuación se muestran algunas figuras de la recolección de muestras de agua en el afluente:

Figura 73: Punto de muestreo

Fuente: El autor

Figura 74: Muestreador semiautomático conectado a la corriente del afluente.

Fuente: El autor

En el ANEXO 16 se muestran más fotografías y videos de la validación del prototipo.

6.14.1 Validación respecto al volumen recolectado

Para validar que el volumen recogido de la muestra sea el correcto, se ha realizado cinco pruebas de recolección en campo, para cada volumen, considerando la altura de 0,75m y 1m que se ha programado en la tarjeta de control, los resultados se muestran en la Tabla *23*:

Tabla 23
Resultados de la validación respecto al volumen recolectado.

Altura (h) m	Volumen real a recolectar (Vr) ml	Volumen medido (Vm) ml	Error Absoluto (Ea) ml	Error relativo (Er) %
0,75	500	530	30	6
		540	40	8
		495	5	1
		455	45	9
		500	0	0
		PROMEDIO	24	4,8
	1000	1060	60	6
		985	15	1,5
		1050	50	5
		1060	60	6
		1070	70	7
		PROMEDIO	51	5,1
1	500	490	10	2
		500	0	0
		525	25	5
		550	50	10
		490	10	2
		PROMEDIO	19	3,8
	1000	990	10	1
		990	10	1
		1050	50	5
		1035	35	3,5
		1065	65	6,5
		PROMEDIO	34	3,4

Fuente: El autor

Donde el error absoluto (Ea) se obtiene mediante la siguiente expresión: $E_a = |V_r - V_m|$ y el error relativo, en porcentaje, se obtiene mediante: $E_r = \frac{E_a}{V_r} \times 100$

El error global promedio es del 4,3%, debido a que el mismo es menor al 10% se ha verificado que el prototipo es funcional.

7. DISCUSIÓN

Se logró desarrollar un prototipo de muestreador semiautomático para la recolección de muestras de agua en afluentes con un mecanismo relativamente sencillo, controlado por una tarjeta Arduino, lo que permite disminuir costos en cuanto a la automatización del mismo.

La succión de las muestras se realiza mediante el uso de una bomba de micro diafragma de la marca Singflo cuyo caudal máximo es de 5000 ml/min, sin embargo, este tipo de bomba no permite succionar largas distancias ni alturas mayores a 1 metro, de manera que si se requiere muestrear desde un puente por ejemplo, sería necesario utilizar otro tipo de bomba. El llenado de la botella es controlado por el tiempo de encendido de la bomba, mediante la tarjeta de control, por lo que si por alguna razón externa ingresa aire en la manguera de aspiración poducirá error en el volumen recolectado.

Por otra parte, el error promedio al momento de llenar el volumen deseado es del 4,8% para una muestra de 500 ml y de 5,1% para la de 1000 ml a una altura de 0,75m y del 3,8% para una muestra de 500 ml y de 3,4% para la de 1000 ml a una altura de 1 metro, esto posiblemente se debe a que la bomba no entrega un caudal del todo constante hasta que se llene completamente con líquido la manguera de aspiración o en ocasiones logren quedar residuos de líquido después del purgado debido a que ésta se encuentre semi enrollada. Para reducir este error con el muestreo de campo, la manguera de aspiración debe estar completamente desenrollada para que el purgado de la misma se realice adecudamente; y no logren quedar residuos de líquido que no se pueden eliminar y provocan los errores antes descritos en el volumen recolectado. También es importante respetar la altura establecida para el bombeo, puesto que si esta altura se varía, el porcentaje de error se incrementará. Probablemente otro factor que influye en el error es, según el fabricante, el rendimiento la bomba, ya que éste varía con la temperatura de trabajo.

La mayoría de muestreadores automáticos de agua disponibles comercialmente, utilizan sistemas de succión mediante el uso de bomba peristáltica, si bien es cierto las mismas ofrecen mayor altura de succión, los costos de estos dispositivos son bastante elevados, y la disponibildad es escasa en el país. Por ejemplo, el muestreador portátil FC-9624 tiene una bomba peristáltica de 3700ml/min y un costo aproximado de 4600 USD. El prototipo construido permite una altura máxima de bombeo de 1 metro y presenta un error global promedio de 4,3% sin embargo el modelo FC-9624 disponible en el mercado presenta un error de 5% usando bomba peristáltica, pero la ventaja de este sistema es que el líquido no entra en contacto con demasiadas partes móviles y permite mayor altura de succión (8m). También existen muestreadores más complejos y costosos (por ejemplo el modelo PVS4100 fabricado por Campbell Scientific Inc.) que utilizan bombas de vacío para la recolección de las muestras y recipientes de medición de volumen antes de llenar la botella por lo que su precisión es más elevada (del 2%) y por ende su costo (5000 USD) , la ventaja de este esquipo es que permite una altura de succión de hasta 9m. En la investigación se utilizó la bomba de micro diafragma (de 5000 ml/min) por tener disponibilidad en el mercado local y ser de un precio accesible (60 USD), ya que el proyecto ha sido autofinanciado por el autor. El costo de una bomba peristática de la marca OEM 5000 ml/min bordea los 450 USD y se la puede adquirir mediante importación, de ahí la razón por la que se ha preferido utilizar la bomba de micro diafragma.

El prototipo se diseñó con una geometría del tipo cilindro vertical de 38,7 cm de diámetro, para una muestra compuesta de 2000 ml que requiere 3 horas para su formación, este volumen total se recolecta usando 4 botellas de polietileno de 500 ml disponibles comercialmente en el mercado local, lo que abarata costos de producción, sin embargo, muestreadores comerciales con similares características geométricas (por ejemplo el muestreador portátil FC-9624 con un diámetro de 43 cm y el ISCO 3700C con un diámetro de 45 cm) sirven para recolectar muestras

compuestas que requieren un período máximo de 24 horas para su formación , esto debido a que cuentan con 24 botellas diseñadas con una forma particular y fabricadas a la medida.

El almacenamiento de las muestras recolectadas por un período de 3 horas a una temperatura de 3°C recomendada por la norma NTE INEN 2176:2013, se realiza con el empleo de 2,44 kg de hielo considerando un ambiente externo de 25°C. Para trabajar en un ambiente con temperatura superior a la de diseño sería necesario utilizar más hielo. La desventaja de este procedimiento es que el hielo se derrite, sin embargo, este método de enfriamiento también es utilizado en los modelos de muestreadores antes mencionados.

Por último, conociendo los costos de los materiales utilizados se establece un presupuesto total de $ 1041,25; lo cual se constituye como opción frente a los demás muestreadores que son más costosos (4600 USD el muestreador portátil FC-9624 y el modelo PVS4100 fabricado por Campbell Scientific Inc. 5000 USD) .

8. CONCLUSIONES

- Los métodos de recolección de muestras de agua en afluentes, básicamente se los puede clasificar en métodos isocinéticos entre los que están el de incremento de ancho igual, incremento de descarga igual y el vertical simple en el centroide del flujo y los métodos no isocinéticos en los cuales están el de inmersión, discreto y por bomba.

  En esta investigación, para realizar la recolección de las muestras se utilizó el método no isocinético por bomba, puesto que es el más fácil de usar debido a que se utiliza la bomba de micro diafragma para la succión de las muestras y éste es un elemento que se lo puede encontrar fácilmente en el mercado, a diferencia de otros equipos (por ejemplo el muestreador ISCO 3700 C) que utilizan la bomba peristáltica, pero este dispositivo es mucho más complejo de conseguir en el país.

- El diseño del prototipo para la recolección de muestras se lo materializó partiendo de la norma NTE INEN 2176:2013 y su Anexo A, (donde se menciona datos como guía para el diseño del equipo de muestreo automático o para los componentes del sistema de muestreo) como complemento también se utilizó la norma NTC ISO 5667-6:1996. Se lo diseñó para recoger separadamente una muestra representativa individual de 500 ml y una de 1000 ml, también para que sea capaz de proveer una muestra compuesta de 2000 ml, para ello se recolecta 4 muestras individuales en botellas de polietileno de 500 ml. En el caso del muestreo compuesto, se ha optado porque el equipo sea del tipo tiempo dependiente, (recolecta la muestra a intervalos de tiempo constantes, ignorando las variaciones de flujo de la corriente), debido a que se requieren menos componentes sumergidos en la corriente del afluente y por su sencillez de operación.

Los recipientes con las muestras se los va a mantener a una temperatura de 3°C utilizando 2,44 kg de hielo para su conservación durante 3 horas, considerando un ambiente externo general a 25°C. Asimismo se ha estimado una velocidad de la corriente del afluente de 1m/s.

Los parámetros de diseño antes mencionados, permitieron la modelización 3D del prototipo del muestreador con la ayuda de un software de diseño 3D, el cual también permitió la obtención de los planos constructivos a detalle de sus componentes los mismos que se muestran en el ANEXO 15 para realizar su construcción.

- A partir del diseño, la construcción de la estructura del prototipo del muestreador se realizó con materiales comerciales disponibles en el mercado local y se utilizó tecnología a disposición como por ejemplo, roladora y soldadura eléctrica de arco existente en el taller mecánico de la Universidad. El prototipo tiene una geometría de tipo cilindro vertical de 38,7 cm de diámetro y una altura de 81 cm, que consta de tres módulos desmontables, las paredes del módulo 1 donde se colocan las botellas, están aisladas por 5cm de fibra de vidrio recubiertas por acero inoxidable AISI 430 de 1 mm de espesor, este material también es empleado en la estructura de los módulos 2 y 3.

  El sistema de control semiautomático se lo ha diseñado de tal manera que resulte fácil la operación del muestreador. El usuario puede visualizar en una pantalla LCD un menú con opciones del tipo de muestra a recolectar y seleccionar la opción requerida haciendo uso de un teclado de 6 teclas. El prototipo contiene una tarjeta Arduino Uno con el diseño de la programación indicada en el ANEXO 14, la cual es la encargada de gobernar el sistema de recolección de muestras y el purgado de

la manguera, este proceso se realiza con la finalidad de evacuar el líquido residual de la maguera de aspiración e impulsión y recibir agua fresca.

- La validación del prototipo respecto al volumen de recolección se realizó con la programación de la tarjeta Arduino, en la cual se pudo determinar que para una altura de 0,75m la bomba debe permanecer encendida: 23 segundos para llenar un volumen de 500 ml con un margen de error de 4,8% y 30 segundos para recolectar 1000 ml con un error de 5,1%. También se precisó que para una altura de 1m la bomba debe estar encendida: 24 segundos para recolectar 500 ml con un error de 3,8% y 31 segundos para llenar 1000 ml con un error de 3,4%. Por lo que se pudo constatar que el prototipo es funcional y permite la recolección de una muestras simple de 500 ml y 1000 ml y una muestra compuesta de 2000 ml, para lo cual se toman 4 muestras de 500 ml en envases diferentes con un intervalo prefijado de 1 hora entre cada una.

9. RECOMENDACIONES

- Colocar el hielo antes de realizar la recolección de las muestras, preferiblemente picado o en forma de pequeños cubos y distribuirlo uniformemente alrededor de las botellas, de tal manera que no queden espacios vacíos, esto con la finalidad de lograr bajar la temperatura de la muestra de 25°C a 3°C en 10 minutos (600 s).
- Diseñar un sistema de refrigeración para permitir que el muestreador almacene las muestras por más tiempo.
- Utilizar otro tipo de bomba para la succión de las muestras, en caso de requerir más longitud o más altura de aspiración.
- Implementar un sistema de medición de volumen antes que la muestra sea depositada en la botella para obtener más precisión.
- Siempre que se vaya a recolectar una muestra compuesta es importante asegurarse que el muestreador esté correctamente nivelado y que las botellas estén bien posicionadas en la estructura de sujeción (canastilla) para las mismas. Si es posible debe asegurarse el muestreador a un árbol o alguna estructura para evitar que se vuelque por alguna situación imprevista y las muestras recolectadas se rieguen.
- Realizar la recolección de las muestras con la manguera de aspiración totalmente extendida, para que el purgado automático se ejecute de forma correcta y se pueda evacuar todo el líquido sobrante de muestreos anteriores para recibir agua fresca.

10. BIBLIOGRAFÍA

AGROCALIDAD. (2015). *Instructivo para toma de muestra de aguas.* AGROCALIDAD.

Aguera Soriano, J. (2002). *Mecánica de Fluidos Incompresibles y Turbomáquinas Hidráulicas.* Madrid: Ciencia.

Almandoz Berrondo, J., Jimenez Redal, R., Mongelos Oquiñena, B., & Pellejero Salaberria, I. (2020). *Cuadros y Ábacos (Ingeniería fluidomecánica).* Escuela Universitaria Politécnica Donostia- San Sebastián.

Casas Yrurzum, S., Pareja Montoro, I., & Pérez Aixendri, M. (2015). *UNIVERSITAT DE VALÈNCIA Tema 2 Introducción a los Sistemas CAD/CAM/CAE.* Obtenido de Curso 2015-2016: http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/expresion-grafica/material-de-clase/

Casco, S. (2014). *Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black Comparacióon y Aplicaciones.* Facultad de Ciencias y Tecnología. Asunción: Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* (Séptima ed.). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Cliff J. Kirchmer, P. D. (1975). *Diseño de programas de muestreo y medición.* Laboratorios Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

CONAGUA. (2002). *Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación Gerencia de Distritos y Unidades de Riego.* México: Comisión Nacional del Agua.

EE.UU.), U. G. (2006). *National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (Manual Nacional de campo para la Recolección de Datos de Calidad del Agua)* (Vol.

Book 9 Chapter A4. COLLECTION OF WATER SAMPLES (Libro 9 Capítulo A4. Recolección de muestras de agua)). (V. I. Abad, Trad.) Hunter Mill, VA, EE. UU, EE.UU: USGS. Obtenido de https://water.usgs.gov/owq/FieldManual/chapter4/pdf/Chap4_v2.pdf

F., L. A., C., J. E., & M., E. R. (2009). *Física 3° año medio.* Santiago de Chile: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE CHILE LTDA.

Hamrock, B. J., Jacobson, B. O., & Schmid, S. R. (2000). *Elementos de máquinas.* México: McGRAW-HILL.

Hart, D. W. (2001). *Electrónica de Potencia.* Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 2169 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.* Quito: INEN. Obtenido de http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/index.php/buscar

Jorge Aguilera, L. H. (2016). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos.* GRUPO IDEA. DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA. UNIVERSIDAD DE JAEN.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas* (Segunda ed.). Madrid: Ediciones del Castillo S.A.

Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie.* México: LIMUSA, S.A. de C.V.

Monkhouse, F. (1978). *Diccionario de términos geográficos.* Barcelona: Oikos-Tau.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos* (Sexta ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.

NTC-ISO-5667-6, I. (1996). *CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS DE RÍOS Y CORRIENTES.* Bogotá, D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICOTEC).

NTE-INEN-2176, I. E. (2013). *NTE INEN 2176 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.* Quito: INEN. Obtenido de

http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf

Pytel, A., & Singer, F. (1994). *Resistencia de Materiales.* México: Alfaomega.

Ramírez, C. A. (2011). *CALIDAD DEL AGUA-Evaluación y diagnóstico.* Medellín - Colombia: Universidad de Medellín.

Ríos, E. J. (2016). *DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE TOMA, MANEJO Y RECEPCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS Y CIENCIAS AMBIENTALES, PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD DE CUENCA.* Cuenca. Obtenido de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23659/1/TESIS.pdf

Rojas Cumbicus, W. M. (2017). *Diseño de un prototipo de contenedor soterrado para residuos sólidos urbanos provenientes del mercado "San Sebastián" de la ciudad de Loja.* Loja: Universidad Nacional de Loja.

Sáenz, P. B. (2009). *Procedimiento de muestreo de agua superficial.* Huaraz-Áncash, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL "Santiago Antúne z de Mayolo".

Schaum. (1971). *Diseño de Máquinas.* México: McGraw Hill.

SERAS. (2013). *Surface Water Sampling.* U.S.

Servicio Geológico de EE.UU., U. G. (2006). *National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (Manual Nacional de campo para la Recolección de Datos de Calidad del Agua)* (Vol. Book 9 Chapter A4. COLLECTION OF WATER SAMPLES (Libro 9 Capítulo A4. Recolección de muestras de agua)). (V. I. Abad, Trad.) Hunter Mill, VA, EE. UU, EE.UU: USGS. Obtenido de https://water.usgs.gov/owq/FieldManual/chapter4/pdf/Chap4_v2.pdf

Soriano, J. A. (2002). *Mecánica de Fluidos Incompresibles y Turbomáquinas Hidráulicas.* Madrid: Ciencia.

Unidas, O. d. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019 NO DEJAR NADIE ATRÁS.* París 07 SP, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Obtenido de https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf

Veintimilla, R. O. (2015). *Diseño y Construcción de una Bomba Peristáltica.* Loja: Universidad Nacional de Loja.

Villavicencio, A. G. (2017). *Diseño de un sistema semiautomático para lavado de botellas de vidrio tipo III, de 750 ml de capacidad.* Loja: Universidad Nacional de Loja.

White, F. M. (2004). *Mecánica de Fluidos.* Fernández: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA,.

Yunus A. Cengel, A. G. (2011). *Transferencia de calor y masa, Fundamentos y aplicaciones* (Cuarta ed.). (E. J. D'Borneville, Trad.) México: McGrawHill.

Zúñiga, F. B. (2011). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (Segunda ed.). México, México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM.

11. ANEXOS

ANEXO 1. Tabla propiedades del aire

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ, kg/m³	Calor específico, c_p, J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α, m²/s²	Viscosidad dinámica, μ, kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν, m²/s	Número de Prandtl, Pr
−150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
−100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
−50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
−40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
−30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
−20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
−10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

ANEXO 2. Propiedades de metales sólidos y de materiales aislantes .

Propiedades de metales sólidos (*continuación*)

Composición	Punto de fusión, K	*Propiedades a 300 K* ρ kg/m³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m²/s	*Propiedades a varias temperaturas* (K), k(W/m · K)/c_p(J/kg · K) 100	200	400	600	800	1 000
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)		8 131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1 090
Aceros al cromo (bajo):											
$\frac{1}{2}$ Cr-$\frac{1}{4}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7 822	444	37.7	10.9			38.2 492	36.7 575	33.3 688	26.9 969
1Cr-$\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7 858	442	42.3	12.2			42.0 492	39.1 575	34.5 688	27.4 969
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7 836	443	48.9	14.1			46.8 492	42.1 575	36.3 688	28.2 969
Aceros inoxidables:											
AISI 302		8 055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611
AISI 316		8 238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602
AISI 347		7 978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7 118	36.7 125	34.0 132	31.4 142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169 649	159 934	153 1 074	149 1 170	146 1 267	

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m²/W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa procesada a partir de roca, escoria o vidrio)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

ANEXO 3. Densidad del agua líquida entre 0 y 100 °C.

Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa

Temperatura °C	Densidad kg / m³	Temperatura °C	Densidad kg / m³	Temperatura °C	Densidad kg / m³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

www.vaxasoftware.com

Fuente: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/denh2o.pdf

ANEXO 4. Tabla Propiedades de líquidos y sólidos.

Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes

a) Líquidos

	Datos de ebullición a 1 atm		*Datos de congelación*		*Propiedades de líquidos*		
Sustancia	Punto de ebullición normal, °C	Calor latente de vaporización h_{fg}, kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{if}, kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad ρ, kg/m^3	Calor específico c_p, kJ/kg · K
Aceite comestible (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	−156	108	20	789	2.84
Amoniaco	−33.3	1357	−77.7	322.4	−33.3	682	4.43
					−20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	−185.9	161.6	−189.3	28	−185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
n-Butano	−0.5	385.2	−138.5	80.3	−0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	−78.4*	230.5 (a 0°C)	−56.6		0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	−114.2	109	25	783	2.46
Etilén glicol	198.1	800.1	−10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	−268.9	22.8	—	—	−268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	−252.8	445.7	−259.2	59.5	−252.8	70.7	10.0
Isobutano	−11.7	367.1	−160	105.7	−11.7	593.8	2.28

Fuente: (Cengel & Boles, 2012)

ANEXO 5. Tabla de la densidad, viscocidad dinámica y cinemática del agua en función de la temperatura.

Temperatura (°C)	*Densidad* (kg/m³)	*Viscosidad dinámica η* (10^5 kg/m · s)	*Viscosidad cinemática ν* $10^6 \frac{m^2}{s}$ = cSt
0	999,8	178,7	1,787
2	999,9	167,1	1,671
4	1,000	156,2	1,562
6	999,9	146,4	1,464
8	999,8	137,6	1,375
10	999,7	130,5	1,307
12	999,4	122,6	1,227
14	999,2	116,1	1,163
16	998,9	110,4	1,106
18	998,5	105,2	1,053
20	998,2	100,2	1,0038
22	997,7	95,5	0,957
24	997,2	91,1	0,914
26	996,6	87,2	0,875
28	996,1	83,4	0,837
30	995,7	79,7	0,801
32	994,9	76,4	0,768
34	994,2	74,1	0,745
36	993,4	70	0,705
38	992,8	68	0,685
40	992,2	65,3	0,658
45	990,2	59,8	0,604
50	988	54,8	0,554
55	985,7	50,5	0,512
60	983,2	46,7	0,475
65	980,6	43,4	0,443
70	977,8	40,4	0,413
75	974,8	37,8	0,388
80	971,8	35,5	0,365
85	968,6	33,4	0,345
90	965,3	31,5	0,326
95	961,8	29,8	0,310
100	958,4	28,2	0,295
150	916,9	18,6	0,205
200	864,6	13,6	0,161
250	799,2	10,9	0,14
300	712,4	8,91	0,132

Fuente: (Mataix, 1986, p. 17)

ANEXO 6. Tabla de propiedades del agua saturada.

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat}, kPa	Densidad, ρ kg/m³ Líquido	Densidad, ρ kg/m³ Vapor	Entalpía de vaporización, h_{fg}, kJ/kg	Calor específico, c_p, J/kg · K Líquido	Calor específico, c_p, J/kg · K Vapor	Conductividad térmica, k W/m · K Líquido	Conductividad térmica, k W/m · K Vapor	Viscosidad dinámica, μ kg/m · s Líquido	Viscosidad dinámica, μ kg/m · s Vapor	Número de Prandtl, Pr Líquido	Número de Prandtl, Pr Vapor	Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K Líquido
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}

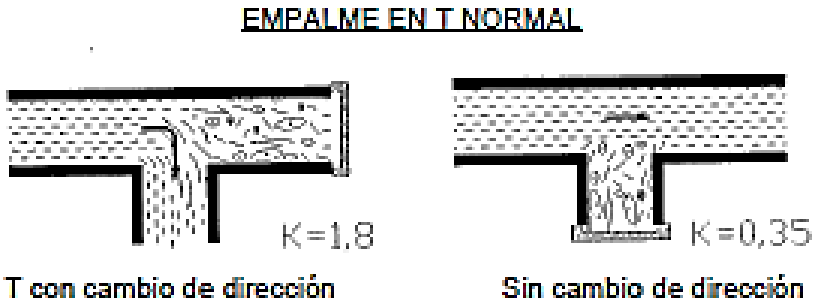
Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

ANEXO 7. Valores de rugosidad para Tuberías

Tipo de tubería	Valores de ε en centímetros (cm)	
	Intervalo	Valor de diseño
Acero roblonado	0,091 – 0,91	0,18
Hormigón	0,03 – 0,3	0,12
Fundición	0,012 – 0,06	0,026
Madera	0,0183 – 0,09	0,06
Hierro galvanizado	0,006 – 0,024	0,015
Fundición asfaltada	0,006 – 0,018	0,012
Acero comercial y soldado	0,003 – 0,009	0,006
Hierro forjado	0,003 -0,009	0,006
Tubo estirado	0,00024	0,00024
Latón y cobre	0,00015	0,00015
Fibrocemento	0,01	0,01
PVC y PE	0,0007	0,0007

Fuente: (Almandoz Berrondo, Jimenez Redal, Mongelos Oquiñena, & Pellejero Salaberria, 2020)

ANEXO 8. Coeficientes k de pérdidas para accesorios de tuberías



Fuente: (Almandoz Berrondo, Jimenez Redal, Mongelos Oquiñena, & Pellejero Salaberria, 2020)

Pieza, conexión o dispositivo	K_i
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfalfera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Fuente: (CONAGUA, 2002)

ANEXO 9. ENSAYO PARA DETERMINAR LA FUERZA NECESARIA PARA DOBLAR LA MANGUERA EN EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE LA MISMA.

INTRODUCCIÓN

Este ensayo se realiza con la finalidad de determinar la fuerza y el torque necesario para doblar 80° la sección de manguera que estará sujeta a la varilla de posicionamiento.

OBJETIVO

Determinar empíricamente la fuerza que dobla la manguera que será utilizada en el sistema de posicionamiento para el llenado de las botellas.

MATERIALES

- Manguera de polietileno de 3/8” de 15cm de longitud
- Dinamómetro (5 N).
- 5 pesas de 1 N cada una
- Un alambre
- Una funda

PROCEDIMIENTO

- Sujetar un extremo de la manguera a una mesa dejando en voladizo una sección de 8 cm.
- Sujetar en el extremo en voladizo un alambre y una funda y montar una a una las pesas, hasta conseguir doblar la manguera.

RESULTADOS

En la varilla de posicionamiento estará sujeta la manguera y girará con la misma ofreciendo una resistencia cuando se dobla, es por eso que luego de montar los elementos, se observó que se necesitan 5 pesas para doblar la manguera hasta los 90°, constituyendo en sí la fuerza necesaria para vencer la resistencia de la manguera cuando el sistema de posicionamiento gire.

CONCLUSIÓN

Mediante el ensayo se pudo determinar que la fuerza necesaria para doblar la manguera es de 5N, como el radio de giro del sistema de posicionamiento es de 8cm, entonces el torque necesario será de 0,4 Nm, valor que servirá para determinar la potencia necesaria del motor paso a paso.

BIBLIOGRAFÍA

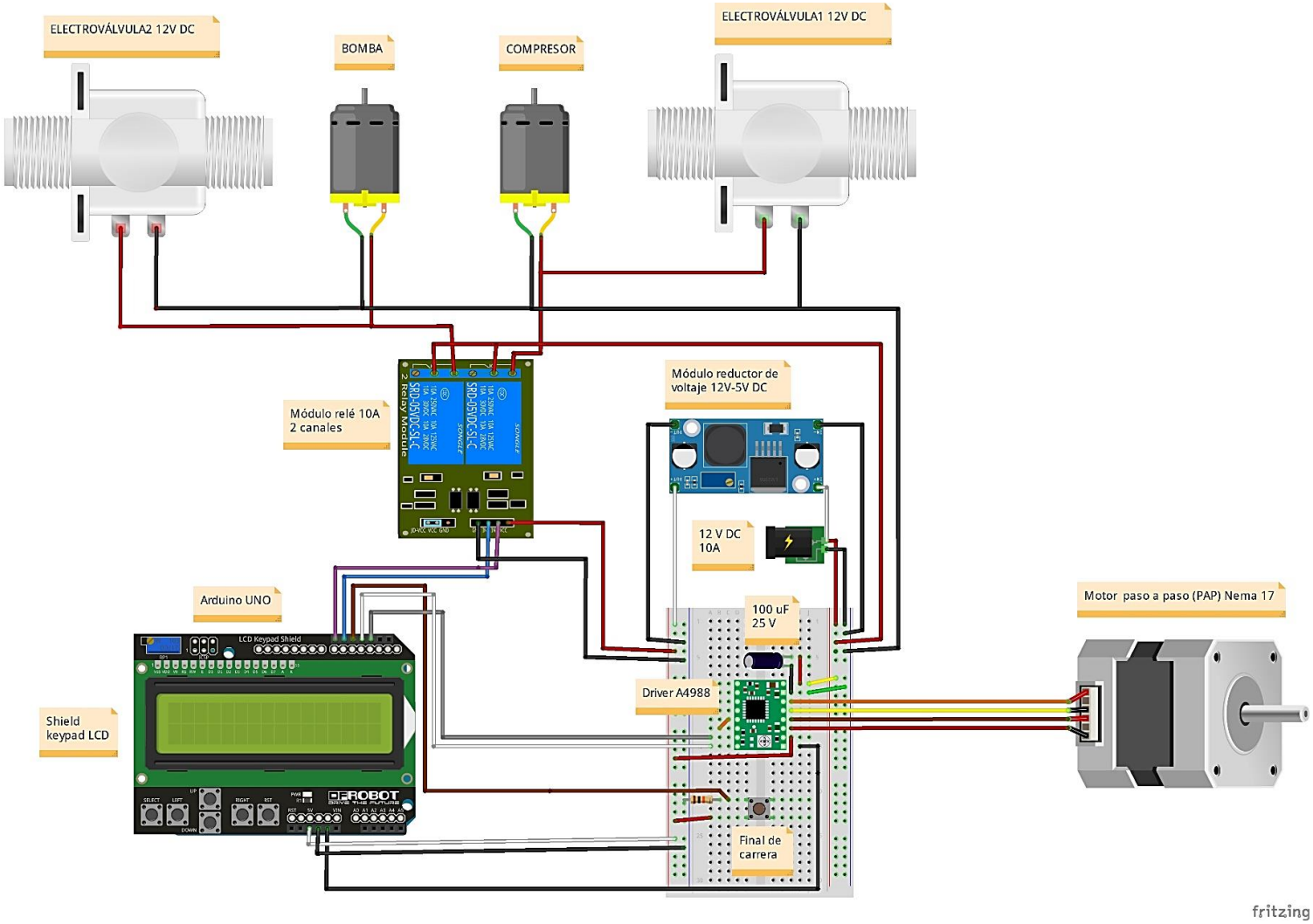
F., L. A., C., J. E., & M., E. R. (2009). *Física 3° año medio.* Santiago de Chile: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE CHILE LTDA.

ANEXO 10. Tabla del factor de servicio para motores.

Factores de Servicio Fs	Accionamiento		
Tipo de Máquina	**Motor Eléctrico**	**M. Alt. Multicilíndrico**	**M. Alt. Monocilíndrico**
Generadores, transportadores de cinta, elevadores, montacargas, batidores, etc.	1	1.25	1.5
Accionamiento de máquinas herramientas, montacargas, mecanismos de giro, agitadores y mezcladores, bombas de embolo etc.	1.25	1.5	1.75
Punzonadoras, zizallas, máquinas laminadoras, dragas de cuchara etc.	1.75	2	2.25

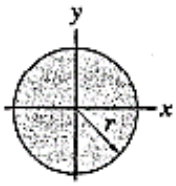
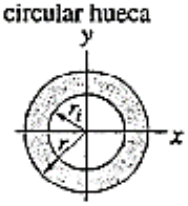
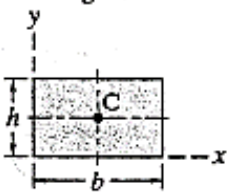
Fuente: (Villavicencio, 2017)

ANEXO 11. Esquema eléctrico y de control del prototipo de muestreador.



Fuente: El autor

ANEXO 12. Centroides, momentos de inercia del área y áreas para secciones transversales.

Sección transversal	Centroide	Momento de inercia del área	Área
Área circular 	$\bar{x}=0$ $\bar{y}=0$	$I_x=I_{\bar{x}}=\frac{\pi}{4}r^4$ $I_y=I_{\bar{y}}=\frac{\pi}{4}r^4$ $J=\frac{\pi}{2}r^4$	$A=\pi r^2$
Área circular hueca 	$\bar{x}=0$ $\bar{y}=0$	$I_x=I_{\bar{x}}=\frac{\pi}{4}\left(r^4-r_i^4\right)$ $I_y=I_{\bar{y}}=\frac{\pi}{4}\left(r^4-r_i^4\right)$ $J=\frac{\pi}{2}\left(r^4-r_i^4\right)$	$A=\pi\left(r^2-r_i^2\right)$
Área triangular	$\bar{x}=\frac{a+b}{3}$ $\bar{y}=\frac{h}{3}$	$I_x=\frac{bh^3}{12},\ I_{\bar{x}}=\frac{bh^3}{36}$ $I_y=\frac{bh\left(b^2+ab+a^2\right)}{12}$ $I_y=\frac{bh\left(b^2-ab+a^2\right)}{36}$ $\bar{J}=\frac{bh}{36}\left(b^2+h^2\right)$	$A=\frac{bh}{2}$
Área rectangular 	$\bar{x}=\frac{b}{2}$ $\bar{y}=\frac{h}{2}$	$I_x=\frac{bh^3}{3},\ I_{\bar{x}}=\frac{bh^3}{12}$ $I_y=\frac{hb^3}{3},\ I_{\bar{y}}=\frac{hb^3}{12}$ $\bar{J}=\frac{bh}{12}\left(b^2+h^2\right)$	$A=bh$

Fuente: (Hamrock, Jacobson, & Schmid, 2000)

ANEXO 13. Características y dimensiones de la bomba de diafragma.

a) Características

Motor

Tipo: 12V / 24V DC, imán permanente, totalmente cerrado, sin ventilación

Ciclo de trabajo: trabajo intermitente

Tipo: desplazamiento positivo de 2 cámaras

Temperatura del líquido: 140 ° F (60 ° C) máximo

Caudal: 5000 ml/min

Bomba capaz de funcionar en seco sin daños

Válvula de retención: (operación de 1 vía) Evita la marcha atrás.

Material de construcción

Carcasa del motor: PA66

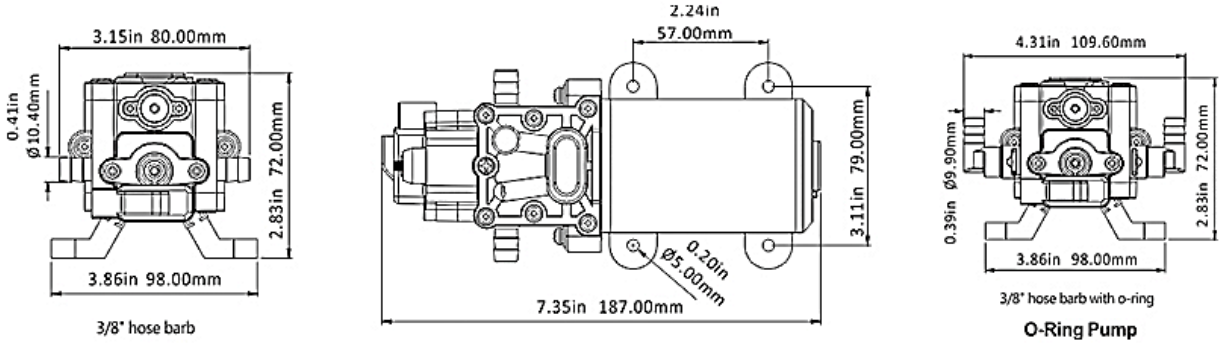
Carcasa de la bomba: polipropileno

Válvulas: Viton o EPDM

Diafragma: Santopreno

Tamaño del puerto: lengüeta de manguera de 3/8 "

a) Dimensiones de la bomba de diafragma



Fuente: Singflo

ANEXO 14. Código del programa para la tarjeta de control. (CD-R 2)

ANEXO 15. Planos. (CD-R 2)

ANEXO 16. Fotografías del proceso de construcción de la estructura del prototipo y de la validación del mismo. (CD-R 2)