

**MEDICIÓN DE CAUDALES DEL RÍO JUANAMBÚ COMO DETERMINACIÓN DE
LA CAPACIDAD HÍDRICA MEDIANTE EL MANEJO Y UTILIZACIÓN DE UN
MOLINETE HIDROMÉTRICO CONSTRUIDO EN EL LABORATORIO DE
HIDRÁULICA**

**CAMILO SEBASTIAN FAJARDO DIAZ
MARLON JIM SALAZAR PAREDES**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2016**

**MEDICIÓN DE CAUDALES DEL RÍO JUANAMBÚ COMO DETERMINACIÓN DE
LA CAPACIDAD HÍDRICA MEDIANTE EL MANEJO Y UTILIZACIÓN DE UN
MOLINETE HIDROMÉTRICO CONSTRUIDO EN EL LABORATORIO DE
HIDRÁULICA**

**CAMILO SEBASTIAN FAJARDO DIAZ
MARLON JIM SALAZAR PAREDES**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director:
ROBERTO SALAZAR CANO
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2016**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Agosto de 2016.

RESUMEN

En este trabajo, se presentó la propuesta para realizar una medición de caudales en un sector determinado del Río Juanambú, con la utilización de un prototipo de Molinete hidrométrico, esto se realizó con el fin de determinar la capacidad hídrica y la respectiva utilización y funcionamiento del equipo en un sitio determinado del Río Juanambú, estos estudios son de gran importancia para implementar futuros proyectos de infraestructura en dicho lugar.

Para el desarrollo del trabajo es necesaria la construcción de un prototipo experimental de Molinete hidrométrico. En el Laboratorio de Hidráulica, se realizó la construcción por los estudiantes de Ingeniería Civil proponentes del trabajo. También se calibró y comparó con otros instrumentos de cálculo para garantizar la confiabilidad a la hora de realizar la medición correspondiente en el Río Juanambú.

La metodología a utilizar para estas mediciones de caudal se realizó por medio del método de área y velocidad. La medición de velocidad de la corriente de agua se efectúa por vadeo y con la ayuda de un Molinete Hidrométrico (Correntómetro), la medición del área de la sección transversal del río se hizo por batimetría, con la utilización de herramientas y equipos necesarios para para la determinación de los parámetros esenciales para el cálculo del caudal.

Palabras clave: prototipo, molinete hidrométrico, capacidad hídrica, calibrará, vadeo.

ABSTRACT

In this paper, the proposal was submitted for a flow measurement in a given site of River Juanambú, with the use of a prototype of hydrometric current, this was done in order to determine the water capacity and the respective use and operation of team at a given site of River Juanambú, these studies are of great importance for implementing future infrastructure projects in that place.

Development work for the construction of an experimental prototype hydrometric current is necessary. In the Hydraulics Laboratory, construction by students of Civil Engineering proponents of the work was done. It is also calibrated and compared with other calculation tools to ensure reliability when performing the corresponding measurement in the River Juanambú.

The methodology used for these measurements was made flow through the area and speed method. Measuring speed of the water flow is by wading and with the help of a winch Hydrometric (current meter), measuring the area of the cross section of the river was by bathymetry, with the use of tools and equipment needed to for the determination of the essential parameters for calculating the flow.

Keywords: prototype, hydrometric windlass, water capacity, calibrate, fording.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. ESTADO DEL ARTE	17
2. MARCO TEORICO.....	18
2.1 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS PARA EL DESARROLLO Y CÁLCULO DE CAUDALES	18
2.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE	18
2.2.1 Cartografía y topografía.....	18
2.2.2 Estudios hidrométricos y meteorológicos	19
2.2.3 Estudios climatológicos.	19
2.3 MÉTODOS DIRECTOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES.....	21
2.3.1 Método de la solución salina.	22
2.3.2 Método del recipiente.	23
2.3.3 Método del área y la velocidad.....	23
2.3.4 Método del flotador.....	23
3. ESTUDIOS HIDRÁULICOS.....	27
3.1 AFOROS PARA LA DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES.....	27
3.1.1 Equipo y herramientas a utilizar en el aforo de caudales.....	27
4. METODOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN	29
4.1 CONSTRUCCIÓN DEL MOLINETE HIDROMÉTRICO	29
4.2 DIMENSIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MOLINETE UNIVERSAL.....	30
4.3 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL MOLINETE UNIVERSAL	31
4.3.1 Descripción de las partes y elementos que componen un molinete universal.....	32
5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MOLINETE HIDROMÉTRICO ..	37

5.1	SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	37
5.2	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MOLINETE HIDROMÉTRICO ..	38
5.2.1	Construcción de la hélice.	38
5.2.2	Construcción de base para la hélice y sensor.	46
5.2.3	Construcción barra métrica de desplazamiento.	48
5.2.4	Construcción de aleta de dirección.	49
5.2.5	Lubricación y adecuación de los rodamientos.	49
5.2.6	Ensamblaje del prototipo de molinete hidrométrico.	51
5.3	PRUEBAS MECÁNICAS DEL PROTOTIPO DE MOLINETE HIDROMÉTRICO	52
5.3.1	Prueba de rotación y rozamiento.....	52
5.3.2	Prueba de sensor y microcomputador.....	53
6.	PRUEBA DINÁMICA DEL PROTOTIPO Y CALIBRACIÓN DEL DISPOSITIVO	54
7.	COMPARACIÓN DEL PROTOTIPO DE MOLINETE HIDROMÉTRICO CON OTROS DISPOSITIVOS DE MEDIDA DE VELOCIDAD PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES.	63
7.1	MONTAJE Y COMPARACIÓN DE LOS EQUIPOS	63
7.2	VELOCIDAD REGISTRADA POR LOS DISPOSITIVOS DE MEDIDA DE VELOCIDAD PARA ESTAS CONDICIONES EN EL CANAL.....	63
8.	MÉTODO DEL ÁREA Y LA VELOCIDAD PARA MEDIR CAUDALES DEL RÍO JUANAMBÚ Y AFLUENTES	68
8.1	MEDICIÓN DE CAUDAL EN EL RÍO JUANAMBÚ Y ALGUNOS AFLUENTES COMO ENSAYO DETERMINANTE DEL PROTOTIPO EN AFORO DE CAMPO.....	70
8.1.1	Medición de caudal realizado en el Río Quiña mediante el método del área y la velocidad con la ayuda de un prototipo de molinete hidrométrico construido en laboratorio.	70
8.1.2	Medición de caudal realizado en el Río Janacatú mediante el método del área y la velocidad con la ayuda de un prototipo de molinete	

hidrométrico construido en laboratorio.	72
8.1.3 Medición de caudal realizado en el Río Negro mediante el método del área y la velocidad con la ayuda de un prototipo de molinete hidrométrico construido en laboratorio.	73
8.1.4 Medición de caudal realizado en el Río Juanambú mediante el método del área y la velocidad con la ayuda de un prototipo de molinete hidrométrico construido en laboratorio.	75
9. CONCLUSIONES.....	77
10. RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estaciones meteorológicas IDEAM.....	20
Tabla 2. Tiempos de llenado.....	60
Tabla 3. Tiempos de llenado.....	61
Tabla 4. Resultados del cálculo de caudal.....	67
Tabla 5. Resultados registro de velocidad.....	67

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización de la zona de desarrollo de estudio	16
Figura 2. Procedimiento de campo aforo por medio de solución salina.....	22
Figura 3. Procedimiento de campo aforo por el método del recipiente.....	23
Figura 4. Área sección transversal del río.....	25
Figura 5. Subdivisión de la sección transversal.....	25
Figura 6. Angulo formado entre el molinete y la vertical en el punto de medición.	26
Figura 7. Sensor de velocidad tipo magnético.....	30
Figura 8. Molinete hidrométrico.....	32
Figura 9. Sistemas móviles de medición de caudal	33
Figura 10. Rodamientos NSK	33
Figura 11. Imán de neodimio	34
Figura 12. Sensor electromagnético	34
Figura 13. Microcomputador	35
Figura 14. Barra métrica de desplazamiento.....	35
Figura 15. Aleta de dirección.....	36
Figura 16. Hélice molinete universal.....	38
Figura 17. Modelamiento del cuerpo de la hélice.....	39
Figura 18. Perforación del cuerpo de la hélice.....	40
Figura 19. Diseño hélice 3D.....	40
Figura 20. Diseño es AutoCAD.....	40
Figura 21. Perforación del imán.....	41
Figura 22. Espacio para el imán.....	41
Figura 23. Peso aleta contrapeso.....	42
Figura 24. Peso aleta con imán.....	42
Figura 25. Modelamiento de la aleta.....	42
Figura 26. Medición de aleta.....	42
Figura 27. Aplicación de cloruro.....	43
Figura 28. Fijación de la aleta.....	43
Figura 29. Hélice tipo universal.....	43
Figura 30. Nueva hélice.....	44
Figura 31. Nueva hélice modificada.....	45
Figura 32. Bases circulares para rodamientos.....	45
Figura 33. Elaboración de base en tubo de acero inoxidable.....	46

Figura 34. Base terminada.....	47
Figura 35. Verificación de alineamiento.	47
Figura 36. Elaboración de bujes..	47
Figura 37. Bujes instalados.....	47
Figura 38. Extensiones en aluminio	48
Figura 39. Colocación de señalización métrica.....	48
Figura 40. Rodamientos 688.....	49
Figura 41. Limpiador industrial.....	50
Figura 42. Lubricante antioxidante.....	51
Figura 43. Prototipo molinete hidrométrico ensamblado.....	52
Figura 44. Prueba dinámica hélice tipo universal.....	54
Figura 45. Prueba inicial prototipo molinete hidrométrico.	55
Figura 46. Funcionamiento del microcomputador.	58
Figura 47. Banco de pruebas universidad de Nariño.	59
Figura 48. Bomba hidráulica..	59
Figura 49. Nivel del agua en el canal.....	59
Figura 50. Aforo volumétrico.....	62
Figura 51. Lectura de microcomputador.	62
Figura 52. Dispositivos de medida propiedad de la universidad Mariana	64
Figura 53. Pruebas de velocidad <i>SonTek</i> micro ADV A1151.....	65
Figura 54. Selección del sitio del levantamiento de la sección transversal.....	69
Figura 55. Medidas de seguridad de la persona encargada de los aforos.....	71
Figura 56. Medición de la franja de agua.....	72
Figura 57. Registro de datos.....	72
Figura 58. Medición de áreas.....	73
Figura 59. Medición de velocidad.	73
Figura 60. Medición de caudal Río negro..	74
Figura 61. Medición de profundidad.....	74
Figura 62. Medición de caudal método de los 3 puntos.....	74
Figura 63. Sector Rosa Florida Río Juanambú.....	75
Figura 64. Medición de profundidad Río Juanambú.	76
Figura 65. Medición de velocidades Río Juanambú.	76

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Manual de mantenimiento y funcionamiento prototipo de molinete hidrométrico construido en el laboratorio de hidráulica y saneamiento de la universidad de Nariño.....	82
Anexo B. Protocolo de campo para el cálculo de caudal por el método de área y velocidad con la utilización de un molinete hidrométrico (correntómetro)	86
Anexo C. Plano de la zona de estudio.....	90
Anexo D. Tablas de Excel de aforo de campo.....	91
Anexo E. Plano de aforos Ríos Quiña, Janacatú, Juanambú y Río negro	95

INTRODUCCIÓN

En el área de la ingeniería es de vital importancia el estudio hídrico e hidrológico de una zona, ello, para implementar programas o proyectos que contribuyan en el desarrollo de una región y el mantenimiento ecológico y ambiental de su entorno. Sin estos estudios sería imposible determinar la factibilidad y viabilidad de construcción y ejecuciones de obras civiles, tales como: Acueductos, Alcantarillados, Presas, Embalses, Centrales Hidroeléctricas, sistemas de abastecimiento, sistemas de riego y otros proyectos de gran importancia y desarrollo para determinada localidad y por ende para sus habitantes.

En el territorio nacional existen fuentes hídricas de gran importancia económica y social, a las cuales no se les ha realizado estudios hídricos e hidrológicos, todo esto por encontrarse en zonas aisladas o de difícil acceso. La zona de estudio en la cual se pretende desarrollar mediciones de caudales es la zona donde se encuentran corrientes de agua en el Río Juanambú, específicamente donde confluyen los ríos: Quiña, Janacatú y Negro. Este lugar tiene características geográficas, geológicas e hidrológicas adecuadas para el desarrollo de proyectos. Para realizar este tipo de mediciones de caudal existen diversos equipos y diferentes metodologías, aunque para el desarrollo de este estudio se enfatizará en la construcción de un Molinete Hidrométrico y su funcionamiento, a partir de la aplicación se conocerá las diferentes variables que pueden afectar una adecuada medición en las velocidades y en caudales. Una vez terminada la construcción del equipo se realizarán diferentes pruebas para calibrar el prototipo de Molinete construido en el laboratorio de Hidráulica y se comparará con los datos obtenidos de la medición en laboratorio con diferentes equipos de medición de caudal para obtener conclusiones y diferencias entre el prototipo y los equipos de precisión dispuestos para este tipo de mediciones.

OBJETIVOS

Objetivo general

Calcular el caudal del Río Juanambú para un lugar determinado de estudio, mediante la utilización de un Molinete Hidrométrico (Correntómetro) construido en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Nariño.

Objetivos específicos

- Construir un Molinete Hidrométrico (Correntómetro) para medir la velocidad de una corriente de agua y para dotar al Laboratorio de Hidráulica y Saneamiento de un instrumento de campo para la medición de caudales.

- Medir las velocidades de la corriente de agua obtenidas con el prototipo construido en laboratorio, comparar con las obtenidas con un correntómetro comercial y determinar el grado de precisión del prototipo a partir de mediciones realizadas en laboratorio.
- Calcular el caudal del Río Juanambú con la utilización del prototipo de molinete mediante el método del área y la velocidad en el sector dispuesto para el estudio.
- Realizar un manual de funcionamiento y un protocolo de campo para las futuras salidas y prácticas del estudiantado de la Universidad de Nariño con el prototipo de molinete hidrométrico.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Definición del problema

¿El cálculo de caudal de una corriente de agua con un Molinete hidrométrico construido en el laboratorio es tan eficiente como para utilizarlo en la medición directa de caudales en el Río Juanambú?

JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso natural de gran importancia para el desarrollo social, económico, cultural, etc. El departamento cuenta con grandes fuentes de este preciado y necesario recurso que por la topografía y la variada flora hace que este recurso sea abundante en algunos lugares del departamento. El Río Juanambú se caracteriza por tener condiciones hidrológicas y morfológicas adecuadas para adelantar proyectos de ingeniería, tales como: presas, embalses o pequeñas centrales hidroeléctricas, sistemas de abastecimiento y riego; pero, por la falta de documentación y estudios no se han adelantado proyectos de gran envergadura en esta zona del departamento. El tener datos del comportamiento de caudal en una zona determinada del Río Juanambú aportaría de manera considerable hacia el desarrollo y ejecución de proyectos, solucionando problemas y necesidades de las comunidades cercanas a estas obras de ingeniería.

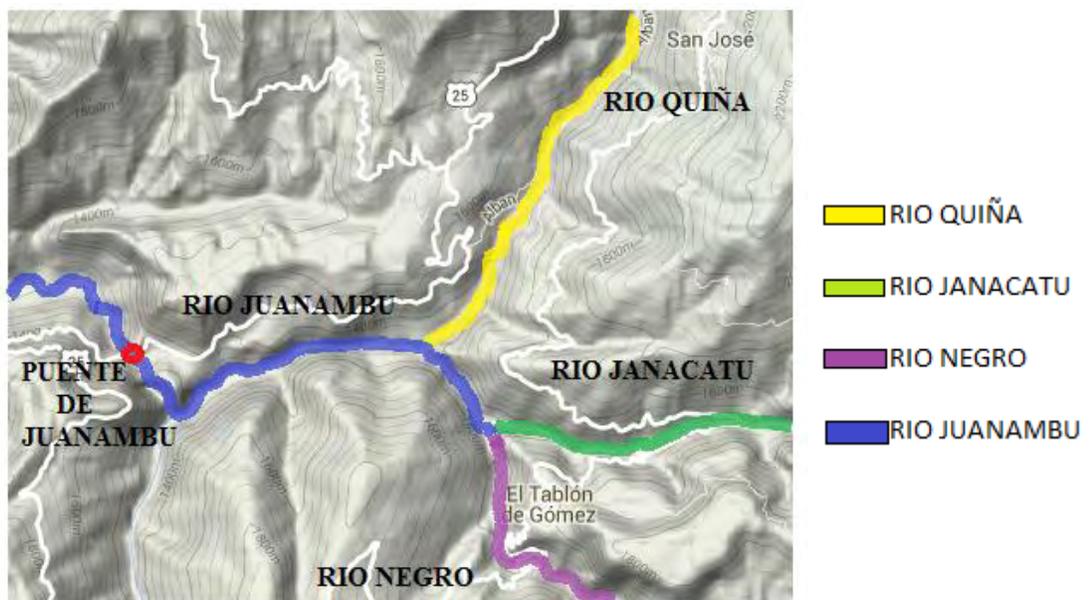
Para la obtención y medición de caudales es necesario la utilización de equipos sofisticados no muy fáciles de adquirir por sus grandes costos y porque no son de muy fácil adquisición, por esta razón se genera la necesidad de la construcción de un equipo de medición, contemplando las variables que se debe tener en cuenta en el momento del procesamiento de los datos y esperando los mejores resultados a partir de una adecuada construcción y medición de las velocidades en el lugar de estudio. La construcción de un prototipo de molinete hidrométrico posibilitará evidenciar la creatividad y conocimientos de los estudiantes; igualmente dar una utilización pertinente a los espacios y laboratorios de la Universidad de Nariño y lo

más importante probar y obtener datos de medición de caudales del Río Juanambú.

ALCANCE Y DEFINICIÓN

Se construirá el equipo de medición en el laboratorio de Hidráulica y Saneamiento del departamento de Ingeniería, y en el multitaller del departamento de Física, dichos espacios y laboratorios son de propiedad de la Universidad de Nariño, los cuales están a la disposición de los estudiantes de los programas pertinentes. La parte de calibración y comparación se realizó con la ayuda interinstitucional de EMPOPASTO SA ESP y la Universidad Mariana, haciendo de este estudio un proyecto con un alto grado de confiabilidad. En el desarrollo del proyecto se obtendrán datos importantes de los caudales que presenta el Río Juanambú en el sector donde confluyen el Río Quiña, el Río Janacatú y el Río Negro con el Río Juanambú, afluentes tributarios que se encuentran aproximadamente entre 5 y 10 kilómetros aguas arriba del sector del Puente Colgante Rojas Pinilla, ubicado entre los municipios de Buesaco y Arboleda, sector en cual se desarrollará el estudio. En esta zona de estudio se ubicarán los sectores adecuados para este tipo de medición, además se tomarán los datos necesarios para el cálculo de caudales. Así mismo se medirá la velocidad de la corriente de agua con la utilización del prototipo y se medirán las dimensiones necesarias para calcular el área de la secciones transversales y los caudales propuesto es en este estudio, y para finalizar, medir el caudal puntual del Río Juanambú en esta zona. (Ver Figura 1)

Figura 1. Localización de la zona de desarrollo de estudio



Fuente: Zonificación y codificación de cuencas en el departamento de Nariño – CORPONARIÑO.

1. ESTADO DEL ARTE

En el trabajo desarrollado por Estrada, Leira, Miranda, Ortiz y Pugliese (2013) "MOLINETE HIDRAULICO", en el cual abordan los tipos de equipos que se utilizan para la medición de velocidades de una corriente de agua, enfatizando en la construcción y funcionamiento de un molinete hidráulico de hélice con sensor magnético, se realizaron las pruebas necesarias para determinar su funcionamiento y las ventajas y desventajas de un equipo construido en laboratorio. Con esta información recopilada se construirá un molinete hidráulico para el cálculo de las velocidades de la corriente en el Río Juanambú.

En el trabajo desarrollado por Pozo Díaz, Liliana Andrea (2011) "CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MOLINETE UNIVERSAL PARA LA MEDICION DE LA VELOCIDAD DEL AGUA EN RÍOS, BASADO EN EL MOLINETE UNIVERSAL UTILIZADO EN EL INAMHI", trabajo en el cual se explica la construcción de un molinete hidrométrico por parte de la escuela politécnica nacional del Perú, se enfatiza en el modelamiento y construcción de todas las partes del equipo y de la comparación de las características del prototipo con las características de el molinete universal.

2. MARCO TEORICO

2.1 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS PARA EL DESARROLLO Y CÁLCULO DE CAUDALES

El estudio hidrológico se realiza a partir de información recolectada conteniendo aspectos como:

- Cartografía y topografía
- Estudios hidrométricos y meteorológicos
- Estudios hidráulicos

2.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Los estudios hidrométricos se realizan a partir de información recolectada conteniendo aspectos como:

- Cartografía y topografía
- Estudios hidrológicos, climatológicos y meteorológicos

2.2.1 Cartografía y topografía. Cuando se ha seleccionado un sitio para el cálculo y estudio de caudales se deberá empezar por recopilar toda la información existente y disponible, la información debe ser ordenada y clasificada para su posterior análisis y así poder establecer si la información es la suficiente para el desarrollo del estudio o si es necesario complementarla.

Es necesario contar con planos de la ubicación de la zona de estudio que proporcione la posición geográfica, vías de acceso e información que sea necesaria para evitar complicaciones a la hora de realizar visitas de campo en los lugares específicos de estudio.

“La información cartográfica, generalmente, se encuentra en el instituto Geográfico Agustín Codazzi y eventualmente en compañías de Ingeniería que han contratado estudios de aerofotogrametría. Todos los planos deben estar enlazados con el sistema nacional de coordenadas.

Dentro de la información cartográfica se deben incluir los mapas con curvas de nivel a escalas entre 1:100.000 y 1:5.000, fotografías aéreas e imágenes de radar y de satélite (si las hay). Esta información se procesa para determinar características morfométricas de la zona, características del suelo y zonas de importancia dentro del proyecto.

Se debe realizar visitas de campo para detectar aquellos sitios que pueden representar un problema a la hora de calcular caudales, o por lo consiguiente localizar los lugares más adecuados para este estudio.

2.2.2 Estudios hidrométricos y meteorológicos. En los estudios de aspecto hidrometeorológico se recolecta información sobre las variables del clima, la precipitación, los caudales y niveles de las corrientes naturales. Por lo general, esta información se recolecta en forma de SERIES DE TIEMPO HISTÓRICAS, las cuales se procesan con métodos estadísticos y probabilísticos para determinar regímenes medios y proyecciones futuras.

Las SERIES HISTÓRICAS de datos de variables climatológicos de mayor importancia para el estudio y cálculo de caudales son: Precipitación, Temperatura, Brillo Solar, Nubosidad, Evaporación, Velocidad, Dirección del Viento y Humedad Relativa. El análisis de las mediciones de caudal que se realizaran en la zona de estudio permitirá realizar un análisis comparativo con la información recolectada. Para el análisis de caudales en la zona de estudio se cuenta únicamente por los datos registrados por la estación limnigráfica ubicada en el Puente de Juanambú (Puente Panamericano) y el cual se encuentran muy retirado de la zona a la cual se quiere realizar los cálculos de caudal y por lo tanto, los caudales calculados por esta estación serían los datos relacionados del precipitación pero a lo largo de toda la cuenca.

2.2.3 Estudios climatológicos. Terminada la etapa de recolección se procede al análisis del clima, la precipitación, temperatura, etc. Este análisis se realiza de acuerdo con las necesidades del estudio y puede incluir uno o varios temas, dependiendo del alcance que se quiera dar al proyecto para el estudio de caudales, el principal y más importante factor climatológico es la Precipitación, la cual se tendrá en cuenta en el momento de comparar con los datos recolectados de los aforos y mediciones realizadas en el lugar dispuesto para el cálculo de los caudales.

a. Climatología

Los valores medios de Temperatura, Humedad, Presión atmosférica y Viento definen el clima de la zona de estudio.

En los estudios relacionados con análisis y evaluación de caudales de un afluente, el clima influye definitivamente en la relación que existe entre la precipitación, la hoya vertiente y la formación de los caudales de las corrientes naturales. Además, el análisis del régimen climatológico es una de las bases fundamentales del estudio de impacto ambiental en todos los proyectos de Ingeniería.

Las condiciones atmosféricas de la cuenca hidrográfica del Río Juanambú, se describen según parámetros de temperatura, precipitación, evaporación, brillo solar, humedad relativa y velocidad del viento. El conjunto de estos parámetros caracteriza la zona de estudio además de la altura y latitud del sector o área a estudiar, con todo esto se puede definir zonas de vital importancia para una población como también los lugares de vulnerabilidad climatológica.

b. Valores climatológicos

La zona de estudio tiene como característica general encontrarse en un piso térmico templado, con una altitud comprendida entre los 1000 y 2000 msnm, cuya temperatura varía alrededor de los 22.5°. Para esta zona se cuenta con registros de las estaciones Aeropuerto Antonio Nariño, Buesaco, Aponte, Taminango, Nariño, aunque las variables climatológicas obtenidas o registradas no son las suficientes para determinar valores de caudales.

Sobre la zona alta y la zona baja de la cuenca no se localizan suficientes estaciones climatológicas que permitan una caracterización detallada de los patrones de circulación de vientos, distribución de humedad y temperatura en la cuenca dada la diversidad de relieve de la misma.

Las estaciones meteorológicas que se encuentran para la zona de estudio se observan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas IDEAM.

Información	Estaciones							
	Aeropuerto Antonio Nariño	Taminango	Berrucos	Buesaco	Aponte	Viento Libre	Providencia	Puente Juanambú
Código	52045020	52045040	52040160	52040040	52040050	52035020	52047040	52047020
Tipo	Sinóptica principal	Climatológica ordinaria	Pluviométrica	Pluviométrica	Pluviométrica	Meteorológica especial	Limnigráfica	Limnigráfica
Municipio	Chachagüí	Taminango	Arboleda	Buesaco	El Tablón	Taminango	Chachagüí	Chachagüí
Departamento	Nariño	Nariño	Nariño	Nariño	Nariño	Nariño	Nariño	Nariño
Corriente	Pasto	Juanambú	Juanambú	Juanambú	Juanambú	Mayo	Pasto	Juanambú
Latitud	01°23' N	01°32' N	01°30' N	01°24' N	01°23' N	01°37' N	1°25' N	01°31' N
Longitud	77°17' W	77°16' W	77°08' W	77°08' W	77°01' W	77°20' W	77°18' W	77°18' W
Altura	1816 m	1875m	2200 m	2020 m	1800 m	1005m	1250	0815 m
Período	1982	1982	1992	1992	1992	1992	2002	2002
	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011
Variables estudiadas	-Brillo solar -Temperatura -Nubosidad -Precipitación -Humedad -Evaporación -Velocidad y dirección del viento	-Temperatura -Nubosidad -Precipitación -Humedad -Evaporación	Precipitación	Precipitación	Precipitación	-Precipitación -Evaporación	Caudales	Caudales

Fuente: IDEAM, 1982-2011

c. Temperatura

El registro de datos de temperatura puede ser consultado en las estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo de una cuenca, aunque también se podría registrar a partir de mediciones en campo con la ayuda de un *termómetro tipo SIX* con el cual se puede medir la máxima temperatura y la mínima en el lugar de estudio, teniendo temperaturas máximas al medio día y en horas de la tarde y las mínimas en la noche y madrugada.

d. Precipitación

La precipitación, principal factor climatológico varía espacial y temporalmente de acuerdo al desplazamiento de la Zona de Confluencia Intertropical ZCI con intensidades diferenciales según características de cada sector de la cuenca. Las mediciones para el cálculo de precipitación se hacen por medio de equipos como el pluviómetro o el pluviógrafo.

El pluviómetro es un instrumento que sirve para recoger y medir la cantidad de precipitación durante un tiempo determinado. La cantidad de lluvia que se almacena en el pluviómetro se mide en milímetros (mm), tiene un recipiente en forma de tolva que se encarga de recolectar el agua lluvia y la lleva a un recipiente graduado para su posterior medición. Este recipiente en forma de tolva o embudo debe ser de un área determinada y conocida para relacionar la cantidad de agua caída sobre el área de recolección. Para el cálculo con pluviómetro es necesario que haya un operario el cual registre mediante observación las horas en las cuales llovió y cuál fue la cantidad recolectada.

El pluviógrafo es un instrumento que registra gráficamente en una tira de papel una curva que relaciona la cantidad de lluvia en un tiempo determinado (días, semanas, meses), este proceso se hace a través de un sistema mecánico que movería una pluma para marcar las curvas en el papel de registro, pero ahora existen pluviógrafos electrónicos que a través de sensores ubicados en el recipiente de recolección logran transmitir datos de la cantidad de precipitación recolectada.

2.3 MÉTODOS DIRECTOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES

Existe variada metodología para determinar el caudal de una corriente de agua cuando no existen datos o estudios sobre el comportamiento de la capacidad hídrica e hidráulica, muchos de estos métodos son aforos o mediciones hechas en campo y directamente en los lugares que se desea estudiar. Estas mediciones deberían hacerse a diario aunque también se hacen mediciones semanales o mensuales.

A continuación, se presentan los métodos comúnmente utilizados por su fácil ejecución y cálculo.

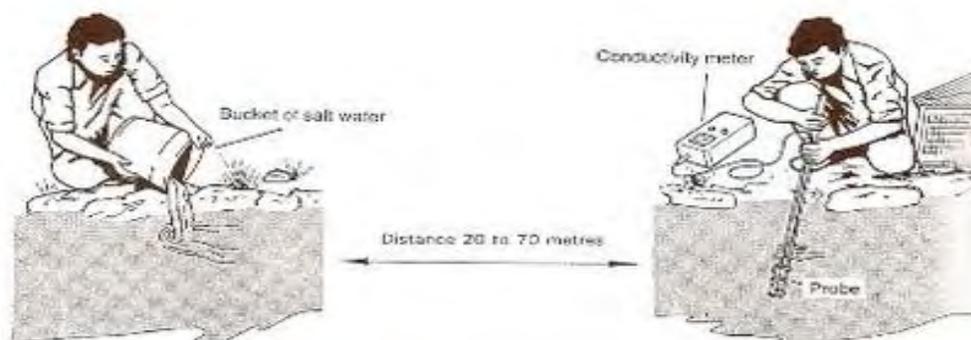
2.3.1 Método de la solución salina. Es un método químico que consiste en hallar el caudal partiendo de la conductividad del agua por la adición de una sustancia química (la sal común es la sustancia empleada comúnmente). Al diluirse una masa de la sustancia química en la corriente de agua se provocará un incremento en la conductividad, estas variaciones de conductividad eléctrica se mide por medio de un conductivímetro.

Los parámetros de cálculo que se toman son: el tiempo inicial como el momento cuando se adiciona la sustancia química diluida y en el momento que se registra una variación de conductividad con el conductivímetro aguas abajo en la corriente tendría un tiempo final, con los datos de tiempo registrados y conociendo la longitud del tramo de río se obtendrá velocidades aproximadas de la corriente de agua.

Es necesario conocer las características del río o canal para saber cuál sería la cantidad aproximada de sustancia química a utilizar para que el conductivímetro pueda registrar las variaciones en la conductividad, ya que en ocasiones la nube producida en la corriente de agua no es lo suficientemente grande para realizar las mediciones y registros de variación.

En este método es necesario también conocer la temperatura de la corriente, la sección transversal del río o canal, tener secciones rectas de río de aproximadamente 20 a 70 metros para que no haya variación en la velocidad a calcular. (Ver Figura 2)

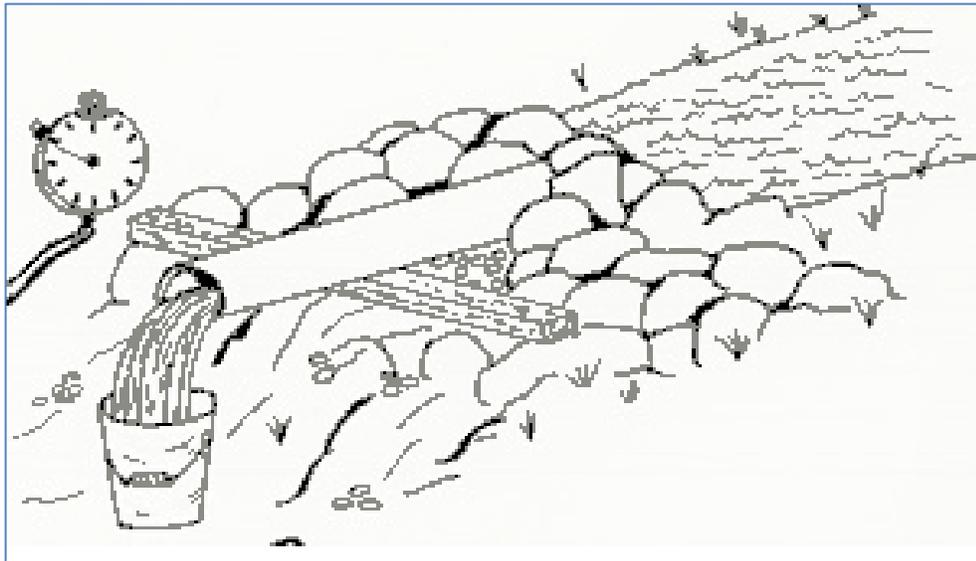
Figura 2. Procedimiento de campo aforo por medio de solución salina



Fuente: <http://es.slideshare.net>

2.3.2 Método del recipiente. Es un método muy simple y fácil para medir el caudal, es necesario encausar todo el caudal hacia un recipiente de volumen conocido y se toma el tiempo que tarda en llenarse, el caudal es el resultado de dividir el volumen recolectado entre el tiempo que tardó en llenarse el recipiente. Este método se utiliza para corrientes y caudales pequeños ya que resultaría poco práctico y económico encontrar recipientes lo suficientemente grandes para hacer dichos aforos en ríos grandes o caudalosos. (Ver Figura 3)

Figura 3. Procedimiento de campo aforo por el método del recipiente.



Fuente: <http://es.slideshare.net>

2.3.3 Método del área y la velocidad. Para este método existe mediciones realizadas por medio de equipos tales como correntómetros o molinetes, equipos electromagnéticos, ultrasónicos, ópticos y *Doppler*, aunque los más utilizados por su fácil manejo son los correntómetros o molinetes. También existen métodos más simples como el método de flotador, aunque es de poca exactitud se utiliza para hacerse a una idea sobre la capacidad y comportamiento de una corriente de agua.

2.3.4 Método del flotador. Se dibuja el perfil de una sección del lecho del río y se establece una sección promedio para una longitud conocida del río o canal. Como flotador se utiliza madera, corcho u otro tipo de cuerpo que tenga la propiedad de flotar y sea fácil de ubicar en la corriente de agua por su color o forma. Los datos a recolectar son los tiempos que se demora el flotador en recorrer una longitud preestablecida del río o canal.

$$V_{\text{superficial}} = L_{\text{longitud conocida del río}} / t^1$$

Como los datos recolectados solo sirven para calcular la velocidad superficial del río se debe realizar unos ajustes para calcular la velocidad media vertical en la sección de estudio. El factor de corrección es un factor que depende de la profundidad de la corriente de agua.

$$V_{\text{MEDIA VERTICAL}} = \text{FACTOR DE CORRECCIÓN} * V_{\text{SUPERFICIAL}}^2$$

Este factor de corrección varía entre 0.8 y 0.9 para encontrar los valores de la velocidad media vertical.

Este método tiene poca validez ya que la presencia de piedras o desniveles en el fondo del río causara resultados erróneos.

Para encontrar los valores de caudal hay que tener en cuenta las mediciones de la sección transversal y multiplicarla por la velocidad media vertical encontrada.

$$Q = V_{\text{MEDIA VERTICAL}} * \text{SECCIÓN MEDIA TRANSVERSAL}^3$$

a. Medición de velocidad con molinete

Este método igual que el método del flotador se fundamenta en la ecuación

$$Q = A * V^4$$

Pero con la diferencia que las mediciones se realizan en un punto determinado del río y no como cálculo de toda una sección del mismo.

Estas mediciones de velocidad se realizan con un equipo llamado molinete hidrométrico, este equipo contabiliza las revoluciones de una hélice al ser sumergida en la corriente de agua.

La velocidad se obtiene mediante una curva de calibración que relaciona las revoluciones con la velocidad. Cada equipo cuenta con sus respectivas curvas porque tienen características propias como su hélice o su sistema de medición. Como las secciones transversales de los ríos no tienen una forma definida se hace necesario dividir en franjas o dovelas para realizar mediciones de velocidad para cada una de las divisiones (Ver Figura 4-5).

¹ APARICIO MIJARES. Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie: Madrid: Limusa, 1992.

² Ibíd.

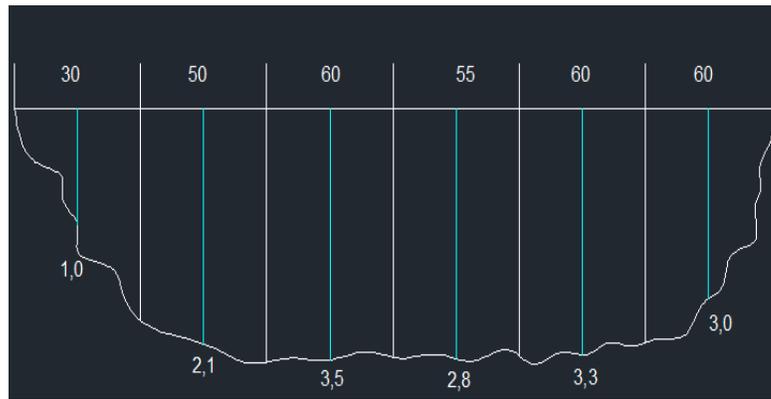
³ Ibíd.

⁴ Ibíd.

Figura 4. Área sección transversal del río.



Figura 5. Subdivisión de la sección transversal.



Existen ciertos parámetros para determinar el número de divisiones necesarias al realizar los aforos, estos son los siguientes:

- El ancho entre divisiones no debe ser mayor que 1/15 a 1/20 del ancho total de la sección.
- El caudal que pasa por cada área o subdivisión A_i no debe ser mayor que el 10% del caudal total.

Una vez realizado estas subdivisiones se procede a realizar las mediciones de velocidades mediante el método de los 3 puntos que corresponde a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad total. Cuando las profundidades son menores a 60 centímetros se mide la velocidad a 0.6 de la profundidad, esta medición de velocidad se considerara como la velocidad media para esta franja o subdivisión

La velocidad media en cada división vertical es

$$\tilde{V}_i = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3}$$
⁵

El caudal correspondiente para cada división o área de influencia

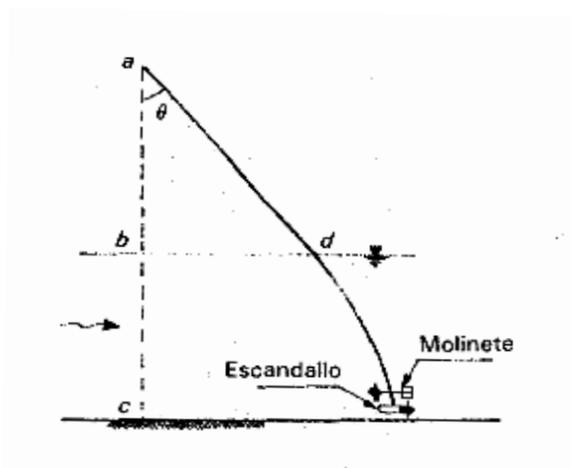
$$Q_i = \tilde{V}_i * A_i$$
⁶

El caudal total será la sumatoria de cada una de las divisiones

$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i$$
⁷

Cuando se hacen mediciones con equipos que están suspendidos con una sonda y sujetos por un contrapeso para que no sea arrastrado por la corriente de agua, se hace necesario realizar una corrección de profundidad, se debe determinar un Coeficiente de Corrección de Profundidad que se calcula en función del ángulo θ que se forma por el arrastre que genera la corriente en el equipo. (Ver Figura 6)

Figura 6. Angulo formado entre el molinete y la vertical en el punto de medición.



Fuente: Aparicio Francisco .1992 “fundamento de hidrología de superficie”

⁵ Ibíd.

⁶ Ibíd.

⁷ Ibíd.

3. ESTUDIOS HIDRÁULICOS

Los estudios hidráulicos a realizar son los cálculos de áreas transversales y mediciones de caudales. Partiendo de mediciones batimétricas se determinó las dimensiones necesarias para calcular las áreas transversales en algunas secciones del río, con la utilización y manejo de un molinete hidrométrico se podrá calcular las velocidades y por consiguiente calcular los caudales puntuales para las secciones de río seleccionadas mediante el Método del área y la velocidad.

Luego de analizar la información recolectada el paso a seguir es programar los trabajos de campo que permitan la complementación de la información existente.

3.1 AFOROS PARA LA DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES

Se define como el conjunto de actividades de medición hidrométrica, con las cuales se determinará los caudales de una corriente de agua correspondientes a un canal o tubería.

Las actividades necesarias para la ejecución y determinación de caudales, son:

- Levantamiento batimétrico de la sección transversal de los tramos donde se tomaran mediciones.
- Registro de velocidad de flujo en dichas secciones.

Para el desarrollo de este estudio se utilizó el método de aforo con molinete o correntómetro, con un aparato construido y calibrado en laboratorio que servirá para la medición y cálculo de velocidades. Se debe encontrar la velocidad media, a partir de varias tomas de datos se obtendrá información acerca de correcciones que se deben efectuar en el análisis de los datos de aforo.

Estas mediciones de deben hacer a diferentes profundidades y en la sección más adecuada de la sección transversal del río, para luego multiplicar estos valores medios obtenidos por el área de la sección transversal y así encontrando valores más representativos del caudal y comportamiento del afluente.

3.1.1 Equipo y herramientas a utilizar en el aforo de caudales. El equipo necesario para el desarrollo de este tipo de estudios es muy amplio; pero el método a utilizar es de área y velocidad, se utilizó un molinete hidrométrico fijado a una barra ya que las mediciones se realizaran por vadeo, por lo tanto, los equipos y herramientas, son:

- GPS
- Estación total o teodolito
- Cinta métrica
- Molinete Hidrométrico
- Cronometro
- Estacas geo-referenciadas

4. METODOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN

La metodología se desarrolla en el estudio del caudal del Río Juanambú y de los afluentes Río Negro, Río Quiña, Río Janacatú, la medición directa de caudales con la utilización de un Molinete Hidrométrico construido en laboratorio, como también la utilización del método del Área y la Velocidad para la medición de caudales.

Para llegar a la parte evaluativa y de cálculos de los caudales se realiza visitas a la zona de estudio para determinar cuáles son las secciones del Río Juanambú más adecuadas para realizar los aforos, además de realizar las respectivas mediciones de secciones y áreas transversales del río que servirán para el cálculo de los caudales.

4.1 CONSTRUCCIÓN DEL MOLINETE HIDROMÉTRICO

Como el principio fundamental del funcionamiento de un Molinete o Correntómetro es el de medir la velocidad de una corriente de agua, esto lo realiza a partir de contar revoluciones de una hélice o aspa, este principio se tendrá en cuenta en el desarrollo y construcción del equipo en el Laboratorio de Hidráulica y Saneamiento.

El Molinete tiene un medidor de velocidad digital (microcomputador), es un velocímetro comercial muy utilizado por su fácil manejo, configuración y resistencia al agua, estas características son muy importantes a la hora de utilizar un medidor de este tipo porque los lugares a los que estaría expuesto al ser parte fundamental de un Molinete Hidrométrico son variables de clima y sobre todo a la humedad.

El tipo de sensor de velocidad es de tipo electromagnético, este sensor se acciona con la ayuda de un imán ubicado en la hélice, la hélice al girar y completar una revolución sobre un eje acciona este sensor y activa un pulso que interpreta en el microcomputador para determinar que flujo pasa por la hélice. (Ver Figura 7)

Figura 7. Sensor de velocidad tipo magnético.



Es de gran importancia en la construcción del Molinete la conformación de la hélice. Las características que debe tener la hélice son: ser resistente, de un material inoxidable y ligera para que no genere peso adicional y sea un inconveniente para la medición de bajas velocidades. Como las medidas de las hélices de los molinetes universales tienen un diámetro aproximado de 12 centímetros, la hélice a utilizar tiene esta medida aproximadamente para que tenga uniformidad con los molinetes comerciales.

El sistema de sujeción es con barras de aluminio, porque es un material liviano e inoxidable. Estará graduado cada 10 centímetros para una fácil identificación visual a la hora de calcular las alturas cuando el equipo se introduce en la corriente de agua.

4.2 DIMENSIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MOLINETE UNIVERSAL

Las dimensiones para la construcción del prototipo se realizó a partir de información recopilada de equipos encontrados en sitios de internet ya que la universidad no posee un equipo de estas características y es muy difícil su adquisición o alquiler en el municipio, por tal razón se inicia la construcción con las dimensiones y características encontradas en algunos manuales y catálogos de empresas comercializadoras de este tipo de instrumentos de precisión.

Inicialmente se propuso la construcción de una hélice de molinete universal la cual tiene las siguientes dimensiones y características: una altura de 80mm en el cuerpo de la hélice, un diámetro del cuerpo de la hélice de 22mm y un diámetro externo o diámetro de giro de 120mm dado por la extensión de 2 aspas o paletas de la hélice, tiene que ser de un material resistente e inoxidable y estar construido de materiales como aluminio latón o plástico.

Como el resultado obtenido de la construcción de este tipo de hélice no fue muy satisfactorio se optó por la conformación y construcción de otra hélice que sea mucho más comercial y de fácil adquisición. La nueva hélice si cumplió con el propósito de medición obteniendo muy buenos resultados, datos fiables y muy similares a los obtenidos de equipos comerciales de gran exactitud.

La nueva hélice construida, la base-soporte para la hélice y la barra métrica de desplazamiento son un prototipo experimental ya que no cumple con las dimensiones propuestas por los laboratorios y empresas constructoras de este tipo de dispositivos: pero con excelentes resultados ya que están contruidos con materiales adecuados para cumplir con las exigencias que se presentan a la hora de hacer las correspondientes medidas y aforos de campo.

4.3 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL MOLINETE UNIVERSAL

Un molinete universal es un instrumento de precisión encargado de medir la velocidad instantánea de un fluido, dependiendo de sus características son empleados para realizar mediciones en ríos, riachuelos, canales y mares. Existen diferentes tipos de equipos para medir la velocidad de la corriente de agua de un río o canal, todo esto dependiendo de la exigencia o de las características del lugar donde se realizara dicho aforo.

Dentro de los equipos portátiles relacionados con la medición de velocidad de una corriente de agua se encontró los molinetes, micromolinetes y los sistemas de medición ADV (*Acoustic Doppler Velocimeter*) velocímetro acústico *Doppler*.

Los molinetes y micromolinetes pueden ser mecánicos o de captador o sensor electromagnético, el prototipo a construir elegido es el de sensor electromagnético, de eje horizontal y hélice o propela, por ser menos complicada su construcción que los de mecanismos mecánicos mucho más complejos.

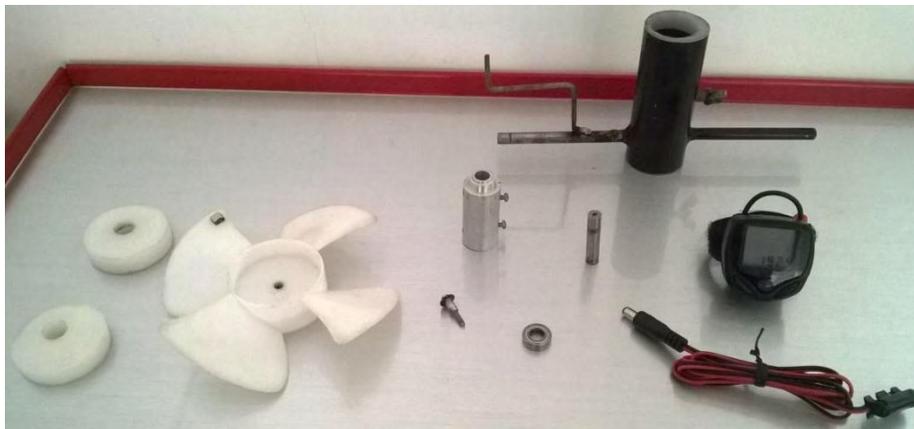
Los molinetes de eje horizontal y hélice son los más usados por sus características, mayores velocidades de registro y porque por su disposición ante la dirección de la corriente tiene menos posibilidades de obstrucciones por el arrastre de material (desechos o algas).

El rango en el registro de velocidades depende del modelo, marca y características de la hélice, estando en un intervalo de velocidad desde 0,025 m/s hasta los 10 m/s.

Existen diferentes tipos de hélices de molinete, cada una para un propósito o rango de velocidad a medir. Las hélices que tienen sus aspas con menor inclinación o “paso de hélice” son muy utilizadas para medir bajas velocidades, mientras que otras hélices con mayor inclinación o “paso de hélice” son utilizadas para velocidades mayores de flujo.

4.3.1 Descripción de las partes y elementos que componen un molinete universal. Las partes o elementos importantes del molinete son la hélice, el tipo de sensor, el tipo de contador o de registro, la barra de desplazamiento, etc., esto dependerá del tipo y la forma del equipo a construir. El molinete a construir es un molinete de barra, su uso es para pequeños ríos y canales en donde se pueda hacer los ensayos por vadeo. A continuación, se procede a describir todos los componentes necesarios en la construcción del prototipo de molinete hidrométrico. (Ver Figura 8)

Figura 8. Molinete hidrométrico



a. Hélice

Es un elemento principal en la construcción del prototipo de molinete, la fuerza que ejerce un fluido en sus aspas hace que la hélice gire o rote. Están construidas en materiales resistentes, inoxidable o de baja corrosión como son aluminio, latón o materiales plásticos de alta resistencia. Dependiendo del tipo de hélices, su tamaño o número de aspas poseen sus propias ecuaciones de calibración para el posterior cálculo de resultados. (Ver Figura 9)

Figura 9. Sistemas móviles de medición de caudal

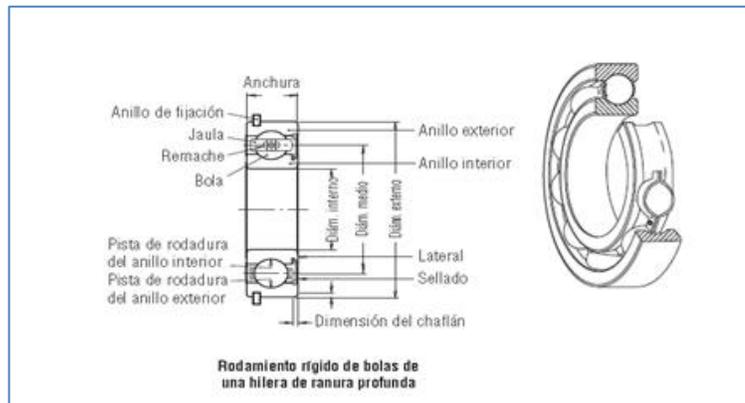


Fuente: <http://www.sebahydrometrie.com>

b. Rodamientos

Los rodamientos o balineras es el elemento mecánico de acero inoxidable encargado de reducir la fricción en el momento de en qué la hélice comienza a girar. (Ver Figura 10)

Figura 10. Rodamientos NSK



Fuente: <http://www.nskamericas.com>

c. Imán

Es un cuerpo natural o artificial que posee la capacidad de atraer por magnetismo otros imanes o elementos metálicos que contengan hierro. Es importante en el funcionamiento del molinete para accionar el sensor electromagnético. (Ver Figura 11)

Figura 11. Imán de neodimio



Fuente: <http://www.gatatornillos.com>

d. Sensor electromagnético

Este tipo de sensor se activa por la presencia de un campo magnético producido por un imán, este sensor tiene en su interior unas láminas metálicas las cuales cierran un circuito eléctrico llevando así información a un microcomputador para registrar este tipo de datos. (Ver Figura 12)

Figura 12. Sensor electromagnético



e. Microcomputador

En general, estos equipos registran las revoluciones que la hélice pueda tener en un minuto a causa del arrastre que genera el fluido en sus aspas. Este tipo de datos sirven para poder obtener la velocidad del fluido a partir de las ecuaciones que se tengan de cada tipo de hélice.

Otros equipos de medición ya cuentan con un proceso de interpretación de datos y pueden dar datos de velocidades instantáneas directamente. (Ver Figura 13)

Figura 13. Microcomputador



f. Barra métrica de desplazamiento

Como su nombre lo indica es una barra con divisiones métricas en la cual se va a desplazar el molinete a diferentes posiciones o alturas, posee un soporte tipo plato o pie en su parte inferior para evitar que se hunda en lechos blandos y se generen errores a la hora de calcular las profundidades en el desplazamiento del molinete. (Ver Figura 14)

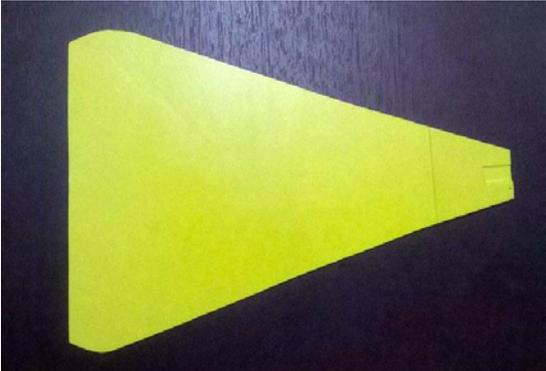
Figura 14. Barra métrica de desplazamiento.



g. Aleta de dirección

Es un elemento que sirve como timón para direccionar el equipo o molinete en dirección al flujo, es muy importante porque un desvío o inclinación del molinete con respecto al flujo dará como resultado errores a la hora de la interpretación de los datos obtenidos. (Ver Figura 15)

Figura 15. Aleta de dirección.



5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MOLINETE HIDROMÉTRICO

Para el desarrollo de aforo y medición de caudal en el Río Juanambú fué necesario la construcción de un prototipo de molinete, en un principio se optó por la construcción de un molinete tipo universal de hélice de 2 aspas, el cual se construyó en su totalidad y con las características propias de este tipo de hélice.

Durante la construcción y la realización de las pruebas correspondientes con este tipo de hélice se encontró numerosas dificultades como disponibilidad de los materiales de construcción, los rodamientos, la disponibilidad de los equipos y herramientas necesarias para la conformación del prototipo, etc. Además, a la hora de realizar los ensayos correspondientes tanto en laboratorio como en campo no se obtuvo buenos resultados con el primer diseño de hélice, razón por la cual se optó por cambiar la conformación y construcción de la hélice y sus soportes.

La nueva hélice se construyó a partir de elementos y partes de fácil adquisición en el mercado (Tiendas de electrónica, ferreterías, etc.) por si era necesario sustituir alguna de las piezas o repuestos en caso de avería o pérdida, se optó por esto para que el equipo siga con su funcionalidad y sea utilizado en la universidad durante mucho tiempo y no tenga que salir de funcionamiento por algún motivo.

A continuación, se procede a describir las partes que conforman el equipo así como también sus características principales y los materiales del cual están compuestas o conformadas.

5.1 SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los materiales de construcción del prototipo tenían que cumplir con ciertos parámetros o características para garantizar el funcionamiento normal del equipo, estas características principales son: sean materiales resistentes a la corrosión (inoxidables), resistentes al agua, resistentes al desgaste y livianos para que sea portátil y fácil de transportar.

Para la conformación de la hélice se dedujo que uno de los materiales apropiados para su construcción fuera de Acrílico (PMMA polímero de metil metacrilato), ya que es un material comercial, fácil de formar (cortar, tornear, etc.) y fácil de unir o pegar gracias a un líquido especial para unir este tipo de material (cloruro de metileno). La segunda hélice se conformó de una hélice de venta comercial, el material del que está hecha es plástico ABS, también se utilizó barras de teflón para realizar ciertas partes para conformar el núcleo de la hélice y darle la resistencia requerida. La base o soporte de la hélice se construyó a partir de un tubo de acero inoxidable, fue necesario la utilización de soldadura tipo TIG (*tungsten inert gas*) para unirla con los ejes de acero en donde irá sujeta la hélice.

La barra métrica de desplazamiento está hecha de aluminio por ser un material resistente, inoxidable y liviano para cumplir con los requerimientos y necesidades que se presenten a la hora de realizar los diferentes ensayos de campo.

5.2 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MOLINETE HIDROMÉTRICO

Las partes principales del molinete a construir son: la hélice o propela, rodamientos, sensor o captador, imán, microcomputador, base para la hélice, eje métrico de desplazamiento y la aleta de dirección.

5.2.1 Construcción de la hélice. Se construyó con materiales diferentes a los utilizados por los laboratorios especializados (aluminio, latón, polímeros y plásticos de alta resistencia).

Las principales características de diseño para este tipo de hélice son sus dimensiones, como son su altura, sus diámetros y la disposición o paso de las aspas.

La altura de esta hélice es de 80mm, su diámetro externo es de 120mm, el diámetro del cuerpo de la hélice es de 22mm y el diámetro interno para el eje de rodamiento de 9mm. (Ver Figura 16)

Figura 16. Hélice molinete universal.



Fuente: <http://img.directindustry.es>

Las dimensiones utilizadas para la construcción de la hélice de molinete universal son las mismas; pero el material utilizado es diferente, el material de conformación es acrílico, por ser un material resistente e inoxidable.

El acrílico es un material que se puede manipular y darle forma con ayuda de algunas herramientas, igualmente se pueden hacer piezas individuales para luego unirlos con sustancias adhesivas especiales para pegar acrílico.

El primer paso para la construcción es conseguir el material de la conformación del cuerpo de la hélice. El cuerpo de la hélice está conformado por una barra de acrílico de 24 mm de diámetro y con la ayuda de un torno se pudo darle las dimensiones correspondientes a las de una hélice de molinete universal.

Se empezó a conformar y pulir el diámetro externo ya que el material inicial o de adquisición no tenía estas características, esto era muy necesario para garantizar que el giro de la hélice sea lo más perfecto posible y alcanzar el diámetro de 22 mm (Ver Figura 17)

Figura 17. Modelamiento del cuerpo de la hélice.



El procedimiento a seguir es la perforación para el paso del eje y la base para el empotre de los rodamientos o balineras, la perforación para el eje se realizó en el torno con una broca de 11/32 de pulgada, una dimensión mayor a la del diámetro del eje el cual es de 8 mm.

La perforación necesaria para empotrar los rodamientos se realizó con la ayuda de un buril improvisado a partir de una broca, haciendo que la perforación tenga el diámetro y la profundidad necesaria para que calcen de manera exacta los rodamientos. (Ver Figura 18)

Figura 18. Perforación del cuerpo de la hélice



La aspa de la hélice se diseñó con la ayuda del software AutoCAD, se realizó esto para luego enviar el archivo y realizar el corte de las aspas o paletas en una cortadora laser, esto se hizo para evitar fallas que afecten el giro de la hélice si en esta existe una variación considerable en su peso o en las dimensiones que puedan hacer “cabecear” o generen un desbalance de la hélice.

El diseño de la hélice como de las aspas se hizo en 3D ya que era necesario construir una curvatura en la aspa para la unión con el cuerpo de la hélice, las aspas se las enviaría en medio magnético (archivo) a recortar para luego pegarlas al cuerpo de la hélice ya construido; pero la cortadora laser no realiza este tipo de corte 3D por lo cual se debió recortar las piezas en 2D y modificar la curvatura de forma manual controlando el peso de las dos aspas al finalizar este procedimiento. (Ver Figura 19-20)

Figura 19. Diseño hélice 3D.

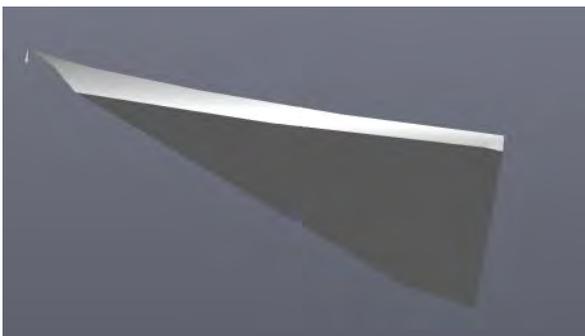
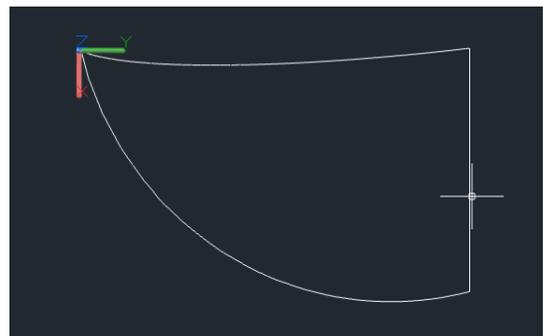


Figura 20. Diseño es AutoCAD.



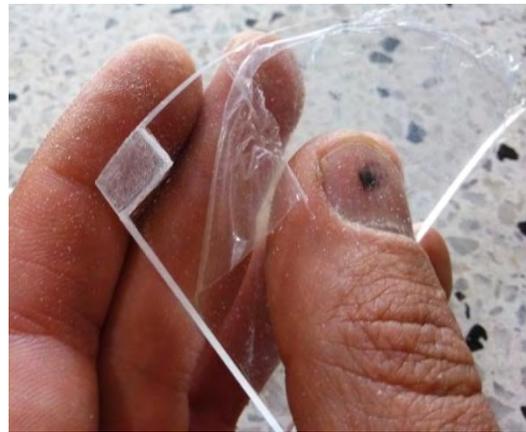
Para el funcionamiento del prototipo de molinete es necesario incrustar imán de neodimio en una de las aspas y en la otra poner un contrapeso para no afectar o generar un desbalance de la hélice a la hora de girar. Durante este procedimiento es necesario controlar el peso para que cada una de las aspas pese y sea igual a la otra.

El imán a incrustar fue un imán de neodimio, este tipo de imán posee un mayor campo magnético en relación con su tamaño comparado con un imán de hierro ferrita, esto era necesario para no afectar la hidrodinámica de la hélice agregando demasiado peso o afectando la forma final de las aspas. (Ver Figura 21-22)

Figura 21. Perforación del imán.



Figura 22. Espacio para el imán.



La perforación y empotrado del imán se realizó con la ayuda de una herramienta llamada *mototool*, esta herramienta tiene unos accesorios llamados fresas con las cuales se realizó el debido proceso de perforación y pulido, era necesario la utilización de herramientas o equipos de precisión para la incrustación del imán y el contrapeso que para este caso se utilizó un balín metálico (Ver Figura 23-24)

Figura 23. Peso aleta contrapeso.



Figura 24. Peso aleta con imán.



Terminado esta actividad se procede a darle la curvatura necesaria para realizar la respectiva unión y poder pegar las aspas al cuerpo de la hélice. Esta curvatura se realizó con la ayuda del *mototool* y lijas de diferente grano, para lograr en lo posible la mejor unión y contacto entre el cuerpo de la hélice y las aspas para finalmente pegarlo. (Ver Figura 25-26)

Figura 25. Modelamiento de la aleta.



Figura 26. Medición de aleta.



Uno de los primeros obstáculos o problemas fue que las aspas tengan la misma inclinación con respecto al eje, para esto se hizo una pieza móvil la cual se podía ubicar para pegar la primera aleta y luego de que esta se haya adherido

firmemente al cuerpo de la hélice poder retirarla para pegar la otra aspa sin ningún problema y conservando la misma inclinación. Las aspas se adhirieron al cuerpo de la hélice mediante un líquido especial para pegar este tipo de material llamado cloruro de metileno, el cual se aplica con la ayuda de una jeringa en la superficie que se desea fijar. (Ver Figura 27-28)

Figura 27. Aplicación de cloruro.



Figura 28. Fijación de la aleta.



Terminado este proceso de pegado se termina con el armado definitivo de la hélice tipo universal y se procede a realizar los ensayos mecánicos e hidrodinámicos correspondientes. (Ver Figura 29)

Figura 29. Hélice tipo universal.



Debido a los inconvenientes con este tipo de hélice a la hora de realizar los ensayos y sus respectivas pruebas fue necesario la construcción de una nueva

hélice, como la construcción de la primera hélice fue muy complicada por el difícil acceso a las instalaciones como el multitaller (para hacer uso del torno y otras herramientas indispensables para la conformación de los elementos del prototipo de molinete), se optó por adquirir una hélice en una tienda de electrónica para luego realizar las modificaciones necesarias para ponerla en funcionamiento. (Ver Figura 30)

Figura 30. Nueva hélice.



La nueva hélice debía ser resistente y de un material inoxidable para que cumpla con los requerimientos necesarios a la hora de hacer las diferentes pruebas, ensayos y prácticas. Se debía realizar las modificaciones correspondientes para que esta nueva hélice funcionara y se adecuara al prototipo de base inicialmente construido, aparte que también había que colocar un imán para que empezara a funcionar y active el sensor electromagnético, para de esta manera registre datos de velocidad en el microcomputador. (Ver Figura 31)

Figura 31. Nueva hélice modificada.



Las modificaciones realizadas fueron: una base soporte para el rodamiento, realizar una pieza base para asegurar el dispositivo e incrustar el imán de neodimio en una de sus aspas.

La nueva base utilizada para asegurar la hélice al dispositivo y la base circular para incrustar el rodamiento, se tornearon y formó a partir de una pieza o barra de teflón, que es inoxidable, fácil de moldear y además no es un material pesado que afecte de manera considerable la hidrodinámica de la hélice. (Ver Figura 32)

Figura 32. Bases circulares para rodamientos.



Terminado el proceso de construcción de la hélice se procedió a realizar las pruebas correspondientes para poder calibrar y llevar a cabo los ensayos de campo.

5.2.2 Construcción de base para la hélice y sensor. La construcción de la base se hace a partir de un tubo de acero inoxidable con un diámetro mayor al de la barra métrica de desplazamiento, se hace esto porque la base para la hélice tendrá que desplazarse dependiendo de la altura en la cual se ubicara el equipo y se realizara la medición de la velocidad. (Ver Figura 33)

Figura 33. Elaboración de base en tubo de acero inoxidable.



Esta base tiene una altura de 10 cm y un diámetro 40 mm, en esta base se suelda el eje de la hélice por un lado y por el otro lado conservando la misma dirección y altura se suelda el eje de la aleta de dirección. Como estas piezas no son fáciles de soldar por ser de diferentes materiales y ya que la soldadura eléctrica o autógena no es compatible con el material de la base que es de acero inoxidable se hizo necesario llevarlo a una empresa especializada en este tipo de soldadura, el tipo de soldadura utilizada se llamada soldadura TIG (*tungsten inert gas*). La empresa que colaboró con la soldadura de la base con los ejes es **ESTRUNAR ESTRUCTURAS DE NARIÑO SAS.**

Gracias a que en esta empresa trabajan algunos estudiantes de Ingeniería Civil egresados de la Universidad de Nariño, se tomaron el tiempo y la disponibilidad de personal especializado para realizar la soldadura de la base de la hélice ya que era indispensable que quedara muy bien soldada y alineada por ser parte de un instrumento de medición. (Ver Figura 34-35)

Figura 34. Base terminada.



Figura 35. Verificación de alineamiento.



Una vez terminado el proceso de soldadura, se construyó unos bujes excéntricos en teflón para realizar el desplazamiento del molinete en la barra métrica para así estar lo más alineado y seguro posible, para evitar que la fuerza ejercida por la corriente del agua del Río no dañe y desplace el equipo a una posición que afecte los resultados en los datos obtenidos. (Ver Figura 36-37)

Figura 36. Elaboración de bujes.



Figura 37. Bujes instalados.



También se realizó unas extensiones en aluminio para alejar la hélice de la base soporte, fueron necesarias estas extensiones porque al realizar las respectivas pruebas la base de la hélice tenía un cuerpo muy robusto y afectaba el giro normal produciendo una turbulencia no deseada la cual no se había previsto, por lo tanto, fue necesario alejar la hélice de la base soporte para que esta turbulencia no afectara el giro de la hélice y el funcionamiento del prototipo. (Ver Figura 38)

Figura 38. Extensiones en aluminio



5.2.3 Construcción barra métrica de desplazamiento. La construcción de la barra métrica fue sencilla ya que consta de una barra de aluminio de 150 cm de altura que lleva en su base un plato de aluminio con un perno de seguridad, este plato es necesario para evitar hundimientos en lechos suaves o fangosos de los ríos que puedan afectar la posición del dispositivo a la hora de tomar o registrar velocidades.

La señalización métrica se realizó en un material adhesivo llamado papel vinilo de color rojo, se recortó y señaló cada 10 cm en un plotter de corte para luego pegarlo a la barra de aluminio. (Ver Figura 39)

Figura 39. Colocación de señalización métrica



5.2.4 Construcción de aleta de dirección. La aleta de dirección es muy sencilla de fabricar, es de un material plástico, flexible y resistente, su tamaño debe ser similar al largo de la base de hélice y sensor, de igual ancho al diámetro de la hélice para evitar giros en la posición de la barra métrica y que los datos de velocidad sean lo más exactos posible.

5.2.5 Lubricación y adecuación de los rodamientos. Los rodamientos utilizados en la construcción de este equipo tienen un diámetro externo de 16 mm, un diámetro interno de 8 mm y un espesor de 4 mm de referencia 688. Son rodamientos rígidos de bolas de una sola hilera de ranura profunda, tienen un sello removible de goma en sus dos caras. Este tipo de rodamientos son los más pequeños que se encuentran en el mercado en el municipio de Pasto.

Este tipo de rodamientos tiene en su interior como material lubricante una grasa siliconada ya que están fabricadas para trabajos duros o de larga duración, siendo este material lubricante resistente a altas temperaturas para proteger de la fricción entre sus componente.

El prototipo de molinete hidrométrico debe ser muy sensible para poder registrar bajas velocidades de flujo de corriente, pero al tener esta grasa lubricante no permitía el libre movimiento de la hélice reduciendo considerablemente sus revoluciones y las velocidades de giro, por esta razón se hizo necesario lubricar de otra manera para que el rodamiento girara con mayor libertad y no afectara el funcionamiento o la calibración inicial.

El primer paso fue limpiar muy bien el exceso de grasa lubricante de los rodamientos (balineras), para esto era necesario extraer el sello removible de goma para tener acceso a la parte interior del rodamiento donde se encuentran los cojinetes (balines). (Ver Figura 40)

Figura 40. Rodamientos 688.



Una vez extraídos estos sellos como primer paso o intento de limpiar el exceso de lubricante se intentó limpiar con aceite mineral calentándolo en un horno, pero el resultado fue poco favorable ya que al enfriarse dejaba una película poco fluida e incluso pegajosa en los cojinetes. Por esta razón, se tomó la decisión de utilizar algún tipo de limpiador industrial para retirar todo el contenido de lubricante de los rodamientos y luego optar por algún tipo de lubricante más fluido que se apegue a las condiciones necesarias para el dispositivo.

La mejor opción de limpiador fue un limpiador industrial utilizado en el campo automotriz el cual garantizaba retirar por completo cualquier sustancia o material que afecte el rodamiento. El producto utilizado para la limpieza es un limpiador de carburadores el cual tiene una presentación en spray y con la ayuda de una cánula se logró limpiar por completo el rodamiento mejorando considerablemente el movimiento entre sus elementos. (Ver Figura 41)

Figura 41. Limpiador industrial.



Como era necesario proteger el rodamiento para evitar la corrosión o que pueda oxidarse se optó por un producto en spray el cual es lubricante y antioxidante, como el prototipo es un dispositivo que se utiliza para medir la velocidad de la corriente en un canal o en un río iba a estar expuesto a la humedad directa y a diferentes tipos de componentes que tenga esta agua, por lo tanto, había que utilizar una sustancia que cumpliera con este tipo de requerimientos. (Ver Figura 42)

Figura 42. Lubricante antioxidante



5.2.6 Ensamblaje del prototipo de molinete hidrométrico. El armado y ensamblaje del prototipo es muy sencillo, sus partes fundamentales son la hélice, la base de la hélice y sensor, la aleta de dirección, la barra métrica de desplazamiento y el microcomputador.

Para asegurar la hélice solo se necesita atornillar a la base por medio de un tornillo tipo Philips, este sistema debe ser muy fácil y práctico para el operario o persona quien va a realizar el aforo o ensayo de laboratorio. La base al igual que la hélice se asegura a la barra métrica de desplazamiento por un tornillo tipo mariposa, ya que es mucho más sencillo para manipular, cambiar y variar de altura durante el aforo por vadeo. La aleta de dirección entra a presión en la base de la hélice por lo tanto es muy fácil de instalar y retirar cuando se haya terminado el ensayo. El sensor se conecta al micro computador mediante un sistema de cables *plug-jack* haciendo que sea muy sencillo de conectar y por último el microcomputador se lo puede ubicar por medio de una correa de velcro a lo largo de la barra métrica de desplazamiento, en el lugar donde sea más cómodo la lectura de velocidades para el operario que está haciendo el aforo. (Ver Figura 43)

Figura 43. Prototipo molinete hidrométrico ensamblado.



El ensamblaje total del dispositivo no dura más de dos minutos, haciendo que la práctica con este dispositivo sea fácil tanto para una persona capacitada, como para una persona que utilice el equipo por primera vez.

5.3 PRUEBAS MECÁNICAS DEL PROTOTIPO DE MOLINETE HIDROMÉTRICO

Al prototipo es necesario hacer ciertas pruebas para comprobar su resistencia y operación para luego llevarlo a las pruebas necesarias para determinar su calibración y funcionamiento.

5.3.1 Prueba de rotación y rozamiento. Los modelos actuales de molinetes tienen ciertos estándares de calidad de sus componentes mecánicos como en sus componentes rígidos, una prueba a realizar es la llamada “golpe seco”, esta prueba consiste en darle un golpe seco a la hélice para probar tanto la resistencia de la hélice como su rotación y rozamiento.

Como los dispositivos comerciales cuentan con mano de obra calificada y componentes de alta calidad ellos garantizan durante la prueba de rotación que

sus equipos poseen una mínima fricción, en esta prueba la hélice debe girar durante 30 segundos aproximadamente con velocidad constante para luego empezar a bajar su velocidad y detenerse a 45 segundos de iniciada la prueba.

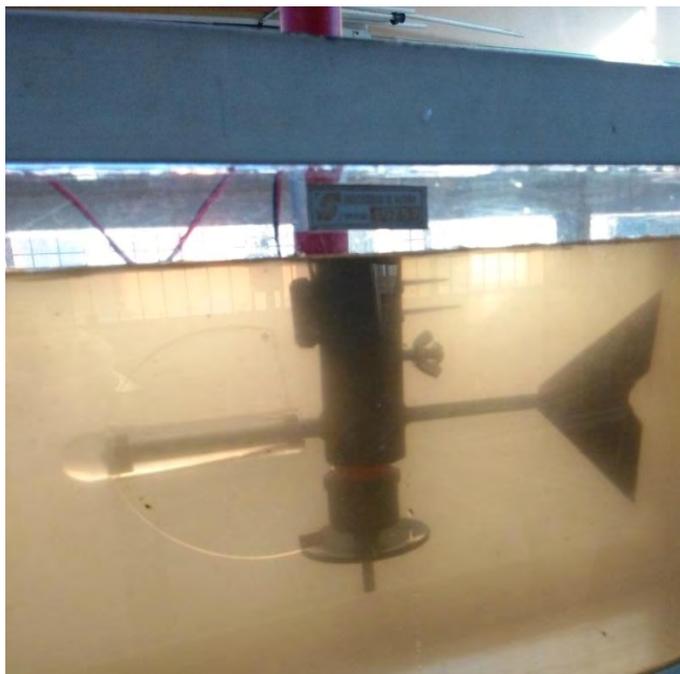
Se realizó esta prueba para el prototipo con las dos hélices construidas en el laboratorio de hidráulica. Para la primera hélice el tiempo durante el cual se mantuvo en rotación fue de 4 segundos y con la segunda hélice fue de 12 segundos. Esta prueba es concluyente para este prototipo ya que se puede dar cuenta que existen algunas fallas durante la fabricación de las piezas y los componentes utilizados; pero no es determinante a la hora de realizar los ensayos correspondientes porque la parte de calibración no es igual a la de un molinete universal ni se manejarán las ecuaciones que contemplan para este tipo de dispositivos.

5.3.2 Prueba de sensor y microcomputador. Esta prueba es muy sencilla, consta de hacer girar la hélice para verificar si el sensor está activándose y enviando los datos necesarios al microcomputador para registrar velocidades. En este momento del ensayo todavía no se han hecho las pruebas para su respectiva calibración, solo es un ensayo para determinar el funcionamiento de todos los componentes.

6. PRUEBA DINÁMICA DEL PROTOTIPO Y CALIBRACIÓN DEL DISPOSITIVO

La prueba dinámica se realizó en un principio para la hélice tipo universal, esta prueba se hizo en el banco de prueba de aforo líquido de la Universidad de Nariño. En este canal se ingresó el prototipo para verificar su funcionamiento; pero como la velocidad de flujo era muy baja no se obtuvo ningún registro de velocidades. Por esta razón se procedió a realizar el ensayo en un canal aforado con un mayor caudal y mayor velocidad que la generada en el banco de prueba de la universidad de Nariño. (Ver Figura 44)

Figura 44. Prueba dinámica hélice tipo universal.

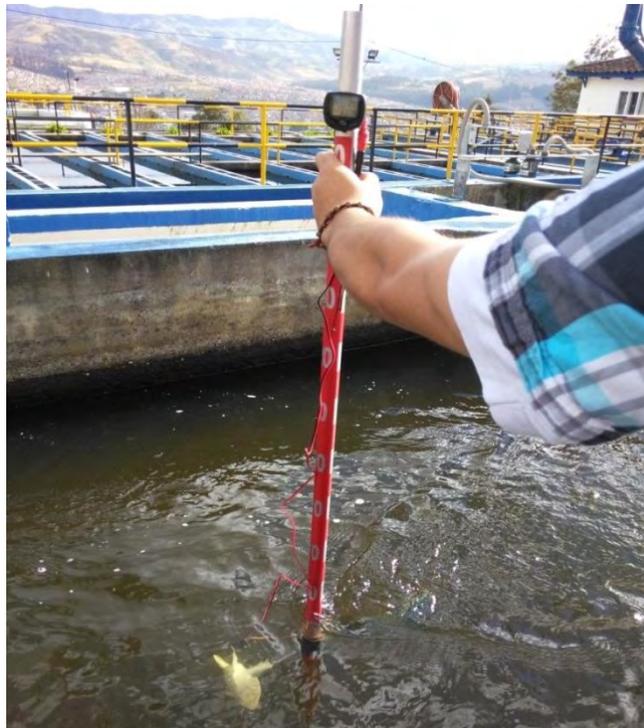


Se realizaron las pruebas el canal de la planta de tratamiento de EMPOPASTO SA ESP ubicada en el sector del Centenario. Una vez más no fueron satisfactorias las pruebas con el primer diseño de hélice, la cual tiene características de hélice de molinete universal, la falla de esta hélice es que su rotación fue demasiado baja y la velocidad que se manejaba en dicho canal era de 0,5 m/s, velocidad suficiente para que funcionara el prototipo.

Por esta razón se construyó la segunda hélice, dispositivo que no contaba con las características del diseño original, pero la cual si funcionó de la manera que se esperaba.

La prueba inicial se realizó en la planta de tratamiento de EMPOPASTO SAS ubicada en el sector del Centenario, como prueba dinámica se observó que al ingresar el prototipo en el canal empezó a registrar velocidad constante, siendo un buen punto ya que las posibilidades de variaciones de velocidad en este tipo de canales son muy bajas. (Ver Figura 45)

Figura 45. Prueba inicial prototipo molinete hidrométrico.



El microcomputador tiene sus propias ecuaciones para el registro de velocidades, tiene en su programación un dato de ingreso acerca del perímetro con el cual registra las revoluciones por minuto (rpm) y las expresa directamente en datos de velocidad. Los datos de velocidad que entrega el microcomputador están dados en kilómetros por hora (Km/h) o en millas por hora (mph) razón por la cual se realiza una conversión para obtener los datos en m/s. Los datos obtenidos en km/h se los multiplicaran por un factor de conversión de 0.277778 para tenerlos en m/s y poder operarlos para tener datos de caudal en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

El dato ingresado inicialmente fue 377 el cual corresponde, a

$$\begin{aligned} \text{perimetro} &= \pi * \text{diametro} \\ \text{perimetro} &= \pi * 120 \text{ mm} \\ \text{perimetro} &= 376.99 \text{ mm} \end{aligned}$$

Una vez ingresado este dato del perímetro al microcomputador se procedió a realizar el ensayo para verificar si los datos de cálculo de caudal son los mismos o similares a los registrados por el equipo digital utilizado por EMPOPASTO SA ESP. Las pruebas de aforo para el prototipo se realizó con el método del área y la velocidad, razón por la cual era necesario tener en cuenta cual era la altura de la lámina de agua para ver si se realizaba más de una medición y variación de la altura del prototipo, como la altura era menor o igual a 60 cm se realizó una sola medida y el equipo se montó a una altura del 0,6h.

Como los datos obtenidos por el prototipo fueron diferentes se optó realizar ciertas ecuaciones para determinar cuál sería el dato de velocidad que debería marcar el equipo y así encontrar el dato del perímetro a ingresar con los datos obtenidos a partir de las pruebas realizadas en el canal.

Dimensiones del canal

Ancho = 1,80 m

Altura lámina de agua = 0,6 m

Área de sección transversa = 1,08 m²

Altura de montaje del prototipo = 0,6(altura de la lámina de agua) = 0,6(0,6 m) = 0,36 m

Velocidad registrada por el prototipo = 5,4 km/h = 1,5 m/s

Caudal prototipo = Área de sección transversa * Velocidad registrada por el prototipo

Caudal prototipo = 1,08 m² * 1,5 m/s = 1,62 m³/s = 1620 L/s

Caudal dispositivo digital EMPOPASTO = 462 litros/s = 0,00462 m³/s

Es necesario calcular cuál es la velocidad real del flujo en el canal para que a partir de una proporción entre las velocidades del dispositivo y la velocidad real del flujo encontrar el perímetro de calibración del prototipo.

$$Q_{\text{dispositivo EMPOPASTO}} = \text{Area de la seccion transversal} * \text{Velocidad}$$

Una vez conocido el caudal **Q** del dispositivo de EMPOPASTO y también el área de la sección transversal, se puede calcular la velocidad real del flujo en el canal.

$$\text{Velocidad} = \frac{Q_{\text{dispositivo EMPOPASTO}}}{\text{Area de la seccion transversal}}$$

$$\text{Velocidad} = \frac{0,462 \text{ m}^3 / \text{s}}{1,08 \text{ m}^2}$$

$$\text{Velocidad} = 0,427 \text{ m/s} = 1,53 \text{ Km/h} \approx 1,5 \text{ Km/h}$$

se realizó una proporción entre velocidad y perímetro conocidos y la velocidad real del flujo para encontrar el perímetro de calibración del prototipo.

Perímetro inicial ingresado → Velocidad registrada por el prototipo

Perímetro de calibración → Velocidad de calibración (Velocidad real de flujo)

Se despejo el Perímetro de calibración de esta proporción

$$\text{Perímetro de calibración} = \frac{\text{Velocidad de calibración} * \text{Perímetro inicial ingresado}}{\text{Velocidad registrada por el prototipo}}$$

$$\text{Perímetro de calibración} = \frac{1,54 \frac{\text{km}}{\text{h}} * 377 \text{ mm}}{5,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}}$$

$$\text{Perímetro de calibración} = 107,5 \text{ mm}$$

Como el microcomputador solo recibe números enteros el número inicial de perímetro a ingresar será 107. Se programó el microcomputador con este nuevo dato de perímetro y se tomó nuevamente datos de velocidad en el canal para calcular el caudal con el prototipo calibrado. (Ver Figura 46)

$$\text{Velocidad prototipo calibrado} = 1,5 \text{ km/h} = 0,4166 \text{ m/s}$$

Figura 46. Funcionamiento del microcomputador.



Se calcula nuevamente la altura de la lámina de agua = 0.6 m

Caudal prototipo = Área canal * Velocidad prototipo calibrado = 1.8m * 0.6m * 0.4166m/s

Caudal prototipo = 0.4499 m³/s ≈ 450 litros/s

Caudal dispositivo EMPOPASTO = 459 litros/s

Se puede observar entre los datos obtenidos con el prototipo y los datos registrados por el dispositivo de EMPOPASTO son diferentes, entre los dos disminuyó considerablemente después de ajustar el dato inicial de programación en el microcomputador.

Para corroborar si el dato de perímetro ingresado como programación del microcomputador es correcto, se realizó medición de caudal y velocidades en el banco de pruebas de medición de caudal de la Universidad de Nariño.

En este banco de prueba se realiza el ensayo a partir de aforos volumétricos y se los compara con los cálculos de caudal o cálculos de velocidad que se registran con el prototipo de molinete hidrométrico. (Ver Figura 47)

Figura 47. Banco de pruebas universidad de Nariño.



En este banco de pruebas se empezó por ponerlo en funcionamiento por medio del bombeo de agua hacia el canal con la ayuda de una bomba hidráulica que garantice el caudal necesario para realizar las pruebas. Con la ayuda de un vertedero rectangular se subió el nivel del agua en el canal por encima del nivel mínimo requerido por el prototipo $h \geq 16$ cm. (Ver Figura 48-49)

Figura 48. Bomba hidráulica.



Figura 49. Nivel del agua en el canal.



Una vez alcanzado este nivel se empezó por realizar un aforo volumétrico, este tipo de aforo es muy sencillo y por calcular el tiempo que tarda el llenado de un volumen determinado.

Como mínimo se realiza 5 ensayos para observar si los datos registrados son correctos o existen demasiado desfase o variación entre los ensayos, si existiera variación se procede a realizar otros ensayos y si es posible se realizará el registro de datos con otra persona para descartar fallas de tipo humano a la hora de tomar los tiempos de llenado.

Registro de datos de caudal a calcular

Área del tanque = 0,158 m²

Como la altura puede ser variable se calculará a una altura determinada por la persona que está realizando el aforo.

Altura = 0,18 m

Volumen total a calcular = 0,028 m³

Los tiempos de llenado registrados fueron:

Tabla 2. Tiempos de llenado.

Tiempo de llenado t (s)	8,8	8,88	8,86	8,97	8,64
-------------------------	-----	------	------	------	------

Fuente: Esta investigación

El tiempo promedio de llenado del tanque es $t = 8,83$ s
El caudal registrado por medio de aforo volumétrico es

$$Q \text{ aforo volumetrico} = \frac{\text{Volumen del tanque}}{\text{tiempo de llenado}}$$

$$Q \text{ aforo volumetrico} = \frac{0,028 \text{ m}^3}{8,83 \text{ s}}$$

Q aforo volumétrico = 0,0032 m³/s

Luego se realizó el aforo por medio del prototipo por el método del área y la velocidad, se calculó el área transversal del canal y con el valor de velocidad registrado por el prototipo se calculó el caudal. Como la velocidad registrada por el prototipo es constante solo se hace necesario realizar un único registro de velocidad, teniendo en cuenta cambiar el dato de velocidad de kilómetros por hora (km/h) a metros por segundo (m/s).

Ahora se compara con los datos de caudal obtenidos con el prototipo

$a = \text{ancho del canal} = 0,205 \text{ m}$

$h = \text{altura de la lámina de agua} = 0,19 \text{ m}$

$A = \text{área transversal del canal} = 0,25 \text{ m} * 0,19 \text{ m} = 0,03895 \text{ m}^2$

$V = \text{velocidad registrada por el prototipo} = 0,3 \text{ km/h} = 0,083 \text{ m/s}$

$$Q_{\text{prototipo}} = \text{área transversal} * \text{velocidad}$$

$$Q_{\text{prototipo}} = 0,03895 \text{ m}^2 * 0,083 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{prototipo}} = 0,00323 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{aforo volumétrico}} \approx Q_{\text{prototipo}}$$

$$0,0032 \text{ m}^3/\text{s} \approx 0,0323 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se realizó otro ensayo variando la altura de la lámina de agua en el canal para verificar si los datos registrados por medio de los dos procedimientos de aforo siguen siendo similares.

Los tiempos de llenado registrados, fueron:

Tabla 3. Tiempos de llenado

Tiempo de llenado t (s)	12,54	12,76	12,39	12,47	12,54
---------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Esta investigación

El tiempo promedio de llenado del tanque es $t = 12,54 \text{ s}$

El caudal registrado por medio de aforo volumétrico es

$$Q_{\text{aforo volumetrico}} = \frac{\text{Volumen del tanque}}{\text{tiempo de llenado}}$$

$$Q_{\text{aforo volumetrico}} = \frac{0,028 \text{ m}^3}{12,54 \text{ s}}$$

$$Q_{\text{aforo volumétrico}} = 0,00223 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora se calculará nuevamente con el prototipo y comparara los datos obtenidos con los datos de aforo volumétrico. (Ver Figura 2)

$a = \text{ancho del canal} = 0,205 \text{ m}$

$h = \text{altura de la lámina de agua} = 0,17 \text{ m}$

$A = \text{área transversal del canal} = 0,25 \text{ m} * 0,175 \text{ m} = 0,03485 \text{ m}^2$

$V = \text{velocidad registrada por el prototipo} = 0,2 \text{ km/h} = 0,0555 \text{ m/s}$

$Q_{\text{prototipo}} = \text{área transversal} * \text{velocidad}$

$Q_{\text{prototipo}} = 0,03485 \text{ m}^2 * 0,0555 \text{ m/s}$

$Q_{\text{prototipo}} = 0,001934 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_{\text{aforo volumétrico}} \approx Q_{\text{prototipo}}$

$0,00223 \text{ m}^3/\text{s} \approx 0,001934 \text{ m}^3/\text{s}$

Figura 50. Aforo volumétrico.



Figura 51. Lectura de microcomputador.



Se puede observar que los datos obtenidos a partir del aforo volumétrico y el aforo con el prototipo son muy similares, razón por la cual se puede concluir que el dato de programación para la calibración del microcomputador es correcto.

7. COMPARACIÓN DEL PROTOTIPO DE MOLINETE HIDROMÉTRICO CON OTROS DISPOSITIVOS DE MEDIDA DE VELOCIDAD PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES.

Esta parte del desarrollo del proyecto se realizó con la ayuda y colaboración de la Universidad Mariana, universidad que prestó sus laboratorios y equipos para realizar una comparación del prototipo construido en la universidad de Nariño, esto se realizó con dispositivos como son: micromolinete, molinete y ADV.

La comparación de estos equipos se realiza en un banco de prueba de caudal, este equipo es un canal de aforo como el que posee la Universidad de Nariño y en el cual se realizará un montaje de todos estos equipos incluyendo el prototipo de molinete hidrométrico además de realizar un aforo volumétrico para descartar errores en los montajes de los equipos.

7.1 MONTAJE Y COMPARACIÓN DE LOS EQUIPOS

Al igual que el ensayo de laboratorio realizado en la Universidad de Nariño se puso en funcionamiento el canal de aforo con la ayuda de una bomba hidráulica que garantice el caudal necesario para realizar las pruebas en el canal.

Dimensiones del canal

Ancho del canal = 0,203 m

Altura de la lámina de agua = 0,18 m

7.2 VELOCIDAD REGISTRADA POR LOS DISPOSITIVOS DE MEDIDA DE VELOCIDAD PARA ESTAS CONDICIONES EN EL CANAL

La velocidad de registro del micromolinete y el molinete utilizados en la Universidad Mariana se calculan a partir de unas ecuaciones, ya que este tipo de dispositivo cuenta las revoluciones por minuto (rpm) que registra la hélice en este tipo de dispositivos. (Ver Figura 52)

Figura 52. Dispositivos de medida propiedad de la universidad Mariana



Se realizó la prueba con el molinete GLOBAL WATER FP111; pero por sus características no se obtuvo registros de rpm, ya que la velocidad mínima de funcionamiento es de 0,1 m/s y la velocidad de flujo en el canal es de 0,05556 m/s.

Rpm micromolinete GLOBAL WATER = 1 rpm

También se realizó la prueba con el micromolinete SEBA M1, cuenta con un contador SEBA Z6 para contar las revoluciones de la hélice, la velocidad mínima de funcionamiento de este dispositivo es de 0,025 m/s y 0,03 m/s dependiendo de la hélice a utilizar.

Rpm micromolinete SEBA M1 = 0 rpm

Se puede observar que el micromolinete no está funcionando para niveles bajos de velocidad, puede ser por falta de mantenimiento o mal manejo que se le haya dado al dispositivo presente alguna avería y por esta razón no está funcionando para velocidades bajas como se especifica sus características.

Se procedió a realizar las pruebas de velocidad y medición de caudal con el dispositivo *SonTek* micro ADV A1151 (*Acoustic Doppler Velocimeter – Velocímetro Acústico Doppler*). Este dispositivo es de gran exactitud y registra datos de velocidad directamente a una computadora para el procesamiento de datos. (Ver Figura 53)

Figura 53. Pruebas de velocidad SonTek micro ADV A1151



Velocidad registrada SonTek ADV A1151 = 0,05413 m/s

Ancho de canal = 0,203 m

Altura de la lámina de agua = 0,18 m

Área de sección transversal = 0,203 m * 0,18 m = 0,03654 m²

$$\begin{aligned} Q_{ADV\ A1151} &= \text{Área de sección transversal} \\ &\quad * \text{Velocidad registrada SonTek ADV A1151} \\ Q &= 0,03654\ \text{m}^2 * 0,05413\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ Q &= 0,001978\ \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Se comparó con los datos obtenidos por el prototipo de molinete hidrométrico.

Velocidad prototipo = 0,2 km/h = 0,055 m/s

Ancho de canal = 0,203 m

Altura de la lámina de agua = 0,18 m

Área de sección transversal = 0,203 m * 0,18 m = 0,03654 m²

$Q_{Prototipo} = \text{Área de sección transversal} * \text{Velocidad prototipo}$

$$Q = 0,03654 \text{ m}^2 * 0,055 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 0,0020097 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se puede observar que los valores de velocidad y caudal entre el dispositivo ADV y el prototipo son muy cercanos y que la diferencia entre estos valores es mínima. Para descartar resultados erróneos relacionado con el proceso de montaje y funcionamiento de los equipos se realizó un aforo volumétrico para este canal.
Área de tanque = 0,4 m * 0,4 m = 0,16 m²

Altura h = 0,10 m

Volumen total V = 0,016 m³

Los tiempos de llenado de tanque son:

Tiempo de llenado t (s) 8,07 8,21 8,11 8,05 7,93

Tiempo promedio t = 8,074 s

El caudal registrado por medio de aforo volumétrico es

$$Q_{\text{aforo volumetrico}} = \frac{\text{Volumen del tanque}}{\text{tiempo de llenado}}$$

$$Q_{\text{aforo volumetrico}} = \frac{0,016 \text{ m}^3}{8,074 \text{ s}}$$

$$Q_{\text{aforo volumétrico}} = 0,001981 \text{ m}^3/\text{s}$$

Los datos de caudal de aforo volumétrico, ADV y el prototipo son muy similares y con escasa diferencia, razón por la cual se puede decir que la comparación y calibración del prototipo está terminada y ha sido un éxito los resultados.

Tabla 4. Resultados del cálculo de caudal.

Caudal aforo volumétrico	1,981 litros/s
Caudal <i>SonTek</i> ADV A1151	1,978 litros /s
Caudal prototipo molinete	2.0097 Litros/s

Tabla 5. Resultados registro de velocidad.

Tipo de dispositivo	Velocidad (m/s)
Molinete GLOBAL WATER FP111	0
Micromolinete SEBA M1	0
<i>SonTek</i> micro ADV A1151	0,05413
Prototipo de molinete hidrométrico	0,0555

Finalmente, la calibración se determina con el nivel de exactitud para el cálculo de la velocidad registrada por el prototipo, la precisión estará proporcionada por el dispositivo de medición, que para el caso del prototipo esta dado en las unidades que maneja el microcomputador.

Como la unidad mínima de medida del microcomputador está dada en una décima de kilometro por hora (1/10 Km/h), los resultados estarán afectados por esta fracción y el resultado será el registro de velocidad más o menos un décimo de kilometro por hora o el resultado de la velocidad más o menos 0,0277778 m/s.

$$Velocidad = \text{Velocidad registrada por el prototipo} \pm 0,0277778 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

8. MÉTODO DEL ÁREA Y LA VELOCIDAD PARA MEDIR CAUDALES DEL RÍO JUANAMBÚ Y AFLUENTES

El método para medir caudales a utilizar en el desarrollo de este trabajo es el método del Área y la Velocidad, el cual es un método directo de determinación de caudales.

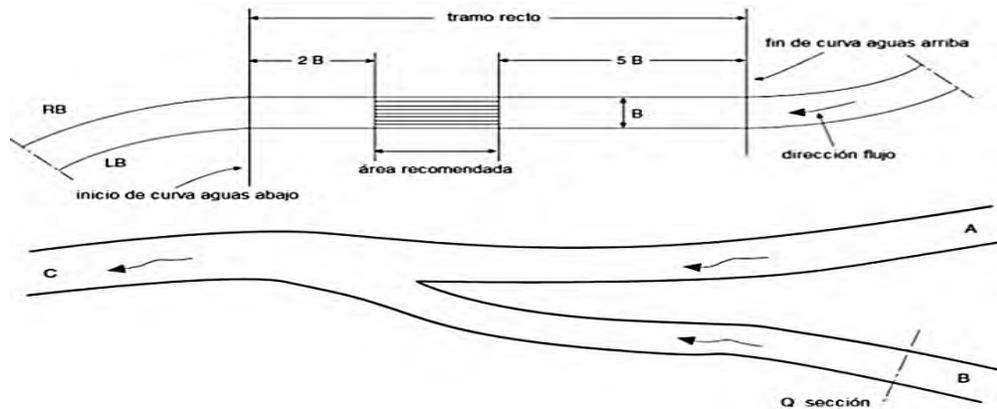
Este método consiste en medir la velocidad de flujo en una sección del río, anteriormente determinando su área de sección transversal para obtener los datos de caudal. Los lugares para dichos aforos deben cumplir como requisitos mínimos:

- Las secciones transversales deben estar bien definidas.
- Deben estar en un sitio rectos para evitar sobreelevaciones o cambios de profundidad de la lámina de agua por curvas o cambios de dirección de flujo en la corriente del río.
- Deben tener fácil acceso para permitir la medición del área transversal y de los aforos correspondientes.
- Se debe tener en cuenta que si existen obstáculos o rocas que afecten la medición correcta de la velocidad se tendrá que cambiar de lugar la sección transversal

Se describe a continuación el procedimiento empleado en el método del área y la velocidad.

Los lugares aptos para realizar las mediciones serán en las secciones rectas del río, secciones que tengan entre 100 y 200 metros de tramo recto son los lugares más apropiados para realizar los levantamientos de las secciones transversales, si no existen tramos con estas características se optara por tomar las secciones con características adecuadas para realizar los aforos y que no afecten los resultados del cálculo de las velocidades. (Ver Figura 54)

Figura 54. Selección del sitio del levantamiento de la sección transversal.



Fuente: <http://es.slideshare.net>

Si se van a desarrollar proyectos de ingeniería en estos lugares se hace necesario realizar una geo-localización a partir de estacas enterradas que servirán como puntos de referencia para el levantamiento topográfico y cotas de nivel, se procede al levantamiento topográfico de la sección transversal del cauce del río dependiendo de su ancho y profundidad se realice con cinta métrica o con el equipo de topografía disponible.

Como las secciones transversales no tienen una forma geométrica definida se procede u opta por dividir dicha área en secciones transversales de igual longitud, en las cuales se tendrá diferentes profundidades y velocidades de flujo.

Se midió velocidades del flujo de agua a diferentes profundidades y secciones transversales para así poder obtener una velocidad media en ese tramo de estudio. Cuando las profundidades del cauce son muy pequeñas, menores a 60 cm se optaran por tomar velocidades a $0.6h$ de la profundidad como dato representativo de velocidad.

La batimetría se realizó con el equipo de seguridad necesario como arnés, soga, gafas y casco protector. Para evitar inconvenientes a la hora de realizar las mediciones los lugares que se tomarán para realizar los aforos también deben contar con características que brinden seguridad para la persona que opere el equipo de medición.

Estos procedimientos antes descritos se repetirán según el número de estaciones de aforo ubicadas en el estudio. Con toda esta recopilación de datos se procede al cálculo de los caudales en todos los puntos determinados como estaciones de aforo.

8.1 MEDICIÓN DE CAUDAL EN EL RÍO JUANAMBÚ Y ALGUNOS AFLUENTES COMO ENSAYO DETERMINANTE DEL PROTOTIPO EN AFORO DE CAMPO

El ensayo de campo es determinante para conocer si el prototipo de molinete hidrométrico construido en laboratorio es igual de eficiente que un molinete comercial y cumple con las características de resistencia y operatividad en condiciones diferentes a las de laboratorio.

Como lugar elegido para realizar estos ensayos se escogió un sector del río Juanambú, lugar que por sus características geográficas es de gran importancia para el departamento si en algún momento se adelantan algún tipo de obra de ingeniería hidráulica en este lugar. Además porque es un lugar propicio para comprobar la resistencia del prototipo en circunstancias adversas o extremas. El Río Juanambú es muy caudaloso, por lo tanto el arrastre de material y las características del agua son variables porque en algunos de sus afluentes se vierten aguas servidas a sus cauces. Todas estas características hacen que sea un lugar propicio para ensayar el prototipo de molinete, sus partes y componentes contra la humedad, corrosión o elementos que afecten directamente su funcionalidad.

El lugar donde se realizó el aforo y mediciones de caudal está ubicado entre 5 a 10 kilómetros aguas arriba del puente Rojas Pinilla más conocido como puente Juanambú, puente que comunica a los municipios de Berruecos y Arboleda.

Se realizó cuatro mediciones de caudal, tres de estas mediciones serán a afluentes del Río Juanambú, una en el Río Quiña en el sector entre el Empate y el municipio de San José de Albán, otra en el Río Janacatú entre el sector del municipio de San José de Albán y el municipio de El Tablón, se realizó el último aforo de los afluentes en el Río Negro en el sector entre el municipio de El Tablón y el municipio de Buesaco. Como última medida se realizara el aforo de caudal en el Río Juanambú en el sector de Rosa Florida, sector propicio para realizar la medición y adelantar obras de ingeniería gracias a sus características geográficas y morfológicas.

A continuación, se describe el aforo de campo por vadeo realizado con el prototipo de molinete hidrométrico para el cálculo de caudales en el sector del Juanambú.

8.1.1 Medición de caudal realizado en el Río Quiña mediante el método del área y la velocidad con la ayuda de un prototipo de molinete hidrométrico construido en laboratorio. Para la medición de caudal en el Río Quiña fue necesario escoger un lugar con características adecuadas para llevar a cabo esta medición, aunque no se encontró secciones rectas de 100 metros para realizar el aforo se buscó lugares donde existan remansos sin ningún obstáculo (piedras, ramas, etc.) que afecten los datos tomados en estos lugares.

El lugar en donde se realizó el aforo tenía un ancho de 5,5 m por lo cual se optó por dividir en 5 franjas o secciones para realizar la medición de velocidad, al tener una altura máxima de 0,5 m solo se tomaría un registro de velocidad por franja de río, esta lectura se la tomo al 60% de la altura máxima de la lámina de agua (0,6h) como velocidad representativa para cada sección o franja.

Como medidas de seguridad la persona encargada de ingresar al río debe estar asegurada con un arnés y una cuerda para realizar la medición por vadeo, es de mucha importancia mantener estas normas de seguridad para evitar contratiempos y pueda tomar los datos con precisión. (Ver Figura 55)

Figura 55. Medidas de seguridad de la persona encargada de los aforos.



La persona encargada de ingresar al río para realizar el aforo calcula la altura para cada franja o sección con la ayuda de la barra métrica, para obtener la altura en la cual se debía colocar el molinete para registrar la velocidad en ese punto. La velocidad registrada por el microcomputador fluctuaba o cambia por momentos, esto se da porque el comportamiento del río es variable y estos cambios son repentinos, por este motivo la persona encargada de realizar la lectura debía interpretar estos datos para tomar como velocidad de registro el dato más representativo para esa franja, mientras otra persona anota y registra los datos para su posterior análisis. (Ver Figura 56-57)

Figura 56. Medición de la franja de agua.



Figura 57. Registro de datos



Una vez registrados los datos de velocidad, ancho y profundidad de cada franja se puede calcular el caudal de cada franja o sección y así calcular el caudal total para esa tramo en particular del río.

Se ingresó esos datos a una hoja electrónica programada anteriormente para poder calcular in situ el caudal que se registra en ese momento para ese tramo o sección de río.

Caudal total puntual calculado en época de verano (Noviembre de 2015) para el Río Quiña fue de $0,954\text{m}^3/\text{s}$ o 954,8 litros/s

8.1.2 Medición de caudal realizado en el Río Janacatú mediante el método del área y la velocidad con la ayuda de un prototipo de molinete hidrométrico construido en laboratorio. Para la medición del caudal del Río Janacatú se realizó el aforo el puente que comunica al municipio de San José de Albán con el municipio de El Tablón, se realizó la medición en este lugar por su fácil acceso

Se realizó el mismo procedimiento en el Río Quiña, se tomó las medidas de precaución necesarias para proceder a realizar los aforos y tomar las áreas correspondientes.

El ancho del río para esa sección es de 6,2 m para la época de verano (Noviembre de 2015), por ese motivo se tomaron seis secciones o franjas de río para calcular la velocidad. La profundidad o altura máxima de la lámina de agua encontrada en esta sección del río fue de 0,6 m razón por la cual se realizó una única medición de velocidad por franja y a una altura de 0,6h. (Ver Figura 58-59)

Figura 58. Medición de áreas.



Figura 59. Medición de velocidad.



Terminado el proceso de medición de velocidad, ancho y profundidad el paso a seguir es el cálculo del caudal.

El caudal total puntual registrado para ese tramo del Río Janacatú en época de verano (Noviembre de 2015) es $2,517 \text{ m}^3/\text{s}$ o 2517,33 litros/s.

8.1.3 Medición de caudal realizado en el Río Negro mediante el método del área y la velocidad con la ayuda de un prototipo de molinete hidrométrico construido en laboratorio. La medición de caudal del Río Negro se la realizó en el lugar donde se encuentra el puente que comunica al municipio de El Tablón con el municipio de Buesaco, este lugar tiene las características necesarias para la realización de un aforo, tramo recto de más de 100 metros, de fácil acceso, aunque el arrastre de la corriente es muy fuerte razón por la cual se debe tener mayor cuidado a la hora de realizar las mediciones por vadeo.

El ancho del río para ese tramo es de 15,8 m, la profundidad o máxima altura de la lámina de agua fue de 1,1 m para la época de verano (Noviembre 2016). Se realizó mediciones de velocidad por el método de 0,6h para unas franjas o secciones y para las secciones que tenían más de 0,6m de profundidad se realizó la medición de velocidad por el método de los tres puntos. (Ver Figura 60-62)

Figura 60. Medición de caudal Rio Negro.



Figura 61. Medición de profundidad.

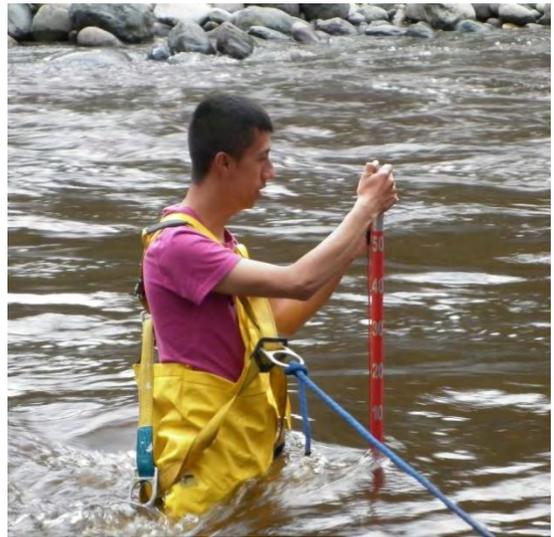


Figura 62. Medición de caudal método de los 3 puntos.



Con los datos obtenidos de anchos de franjas, alturas de la lámina de agua, y velocidades se procede a calcular el caudal total puntual para ese tramo del Río Negro.

El caudal total puntual registrado en el Río Negro para época de verano (Noviembre de 2015) es de $6,86 \text{ m}^3/\text{s}$ o $6867,9 \text{ litros/s}$, este es uno de los afluentes que más aportan caudal al Río Juanambú.

8.1.4 Medición de caudal realizado en el Río Juanambú mediante el método del área y la velocidad con la ayuda de un prototipo de molinete hidrométrico construido en laboratorio. Como se puede dar cuenta el prototipo de molinete hidrométrico funciona muy bien en rangos de velocidades bajas y velocidades altas sin importar el régimen de flujo (laminar o turbulento), ya que pasó las pruebas de medición tanto en laboratorio como en mediciones de campo.

Ahora como paso final de estudio se procede al cálculo de caudal en el Río Juanambú con la ayuda del prototipo de molinete hidrométrico.

Se empieza por encontrar un lugar apropiado para realizar el aforo, este lugar debía tener características apropiadas para este tipo de medición, dicho lugar es el en sector de Rosa Florida municipio de Arboleda. (Ver Figura 63)

Figura 63. Sector Rosa Florida Río Juanambú.



Como en las mediciones realizadas anteriormente en los afluentes del Juanambú se debía tomar las medidas de seguridad apropiadas, ya que en este lugar se iba a presentar mucho más caudal que en los anteriores ríos. Era de mayor importancia prestar atención al arrastre ejercido por el agua a la persona que ingresó al río a realizar las mediciones de velocidad.

Se realiza el mismo procedimiento que en los afluentes, se hace un reconocimiento del lugar, se mide el ancho de la sección a aforar, se divide en secciones para la medición de alturas y velocidades como última actividad calcular el caudal total para ese sector del río. (Ver Figura 64)

Figura 64. Medición de profundidad Río Juanambú.



En este sector el Río Juanambú presenta para épocas de verano (noviembre 2016) un ancho de 16,5 metros y una máxima altura de la lámina de agua de 1,3 metros.

Figura 65. Medición de velocidades Río Juanambú.



El aforo por vadeo fue muy dispendioso y de mucho cuidado porque al ser el Juanambú un río caudaloso, el arrastre del agua era muy fuerte para la persona que realizaba la medición, también se debía tener mucho cuidado porque las variaciones de caudal pueden ser repentinas y subir el nivel de la lámina de agua subitamente causando que la persona que realiza la medición pueda perder el equilibrio y causar algún tipo de accidente. El caudal total puntual calculado para la época de verano (Noviembre de 2015) en el Río Juanambú sector de Rosa Florida es de $10,4686 \text{ m}^3/\text{s}$ o 10468,6 litros/s.

9. CONCLUSIONES

La construcción de un prototipo de molinete hidrométrico en el laboratorio de hidráulica generó un desafío al ingenio, al buscar las soluciones más eficientes para la construcción de este dispositivo. El motivo por el cual se optó por la construcción de este dispositivo es que estos instrumentos de medición y precisión no son muy comunes en el mercado por su alto valor adquisitivo, por esta razón se buscó solucionar y mejorar las características constructivas de un prototipo y así optimizar el desempeño y funcionamiento del equipo de medición construido en el laboratorio.

Se optó por una construcción inicial de una hélice para el dispositivo tipo molinete universal, finalizada la construcción de esta hélice se realizaron los ensayos correspondientes y se observó que este tipo de hélice no sensaba velocidades bajas de flujo y solo funciona bajo un rango de velocidad muy alta 0,5 m/s, razón por la cual se optó por desechar este diseño y se reemplazó por una construcción de otro tipo de hélice.

Se construyó una nueva hélice con características apropiadas para el registro de velocidades bajas. La característica primordial era que la disposición de las aspas tuvieran una baja inclinación o paso de hélice, haciendo que el rango de velocidades de registro sea más amplia y se registrara velocidades bajas desde 0,027 m/s hasta velocidades altas de 5,5 m/s, condiciones las cuales son necesarias para compararlas con las características encontradas en los equipos de medición comerciales.

Al realizar la parte comparativa entre el prototipo y equipos comerciales de precisión ya calibrados como micromolinetes y dispositivo ADV, se observó que los resultados obtenidos tanto de velocidad como de caudales por parte del dispositivo ADV son muy cercanos a los obtenidos por el prototipo, con diferencias mínimas entre las unidades de medición, por lo cual se puede decir que el dispositivo construido en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Nariño se puede utilizar como un instrumento para medir la velocidad de flujo de una corriente de agua con un nivel alto de precisión.

Datos obtenidos de medición de velocidad realizados en el banco de pruebas de caudal de la Universidad Mariana:

SonTek micro ADV A1151 = 0,05413 m/s
Prototipo de molinete hidrométrico = 0,0555 m/s

En el desarrollo de la práctica con el prototipo de molinete construido en el laboratorio de hidráulica se propuso la medición en tres afluentes del Río Juanambú y una última medición en este río. Se pudo observar el comportamiento del dispositivo en los diferentes caudales que se encontraron en estos ríos, los cuales fueron $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$ (caudal bajo) en el Río Quiña, $2,51 \text{ m}^3/\text{s}$ en el Río Janacatu (caudal medio), $6,86 \text{ m}^3/\text{s}$ en el Río Negro (caudal alto), siendo estos los afluentes principales que aportan caudal al Río Juanambú en la zona de estudio. Finalmente, se realizó la medición de caudal para el Río Juanambú, el caudal registrado fue de $10,46 \text{ m}^3/\text{s}$ (caudal alto). Se puede observar que la suma de los caudales de los afluentes tiene mucha similitud con el caudal registrado en el Río Juanambú. Analizando los datos anteriores se pudo comprobar que el prototipo de molinete hidrométrico funciona en condiciones de laboratorio y también tiene un excelente funcionamiento en condiciones de campo, en las cuales se presentan velocidades bajas y velocidades muy altas.

La medición de caudal en la zona del Juanambú dispuesta para el estudio se realizó en el mes de Noviembre de 2015, año en el cual se observó los efectos drásticos del “fenómeno del niño”, generando un verano muy extenso y afectando los niveles de caudales en el país y del departamento. Por lo tanto se pudo determinar que la medición de caudal efectuada en el desarrollo de este estudio no representa caudales máximos ni medios sino caudales mínimos por la escasa precipitación para esta estación del año.

El volumen registrado durante el aforo en el mes de noviembre de 2015 en el Río Juanambú fue de 10462.5 L/s ($10,462 \text{ m}^3/\text{s}$) dato representativo de caudal mínimo, por lo cual esta lectura de caudal representa una referencia considerable para adelantar importantes obras hidráulicas de Ingeniería en este sector.

La construcción del molinete fue productiva en el sentido didáctico y pedagógico, puesto que se accedieron a escenarios de aprendizaje tanto en la investigación, construcción y la aplicación en campo de dicho prototipo. Igualmente, resuelve la carencia del equipo especializado en la universidad de Nariño.

10. RECOMENDACIONES

Tener en cuenta que la altura mínima de la lámina de agua donde se realice el aforo de caudal debe tener como mínimo 16 cm, esto es necesario porque la hélice posee un diámetro de 14 cm y debe quedar completamente sumergida para realizar la medición de velocidad.

Hacer una única medición por franja cuando esta tenga una altura de la lámina de agua o profundidad menor a 0,6 m, se ubicara el prototipo a 0,6h, se realizara la toma de datos para este punto y se determinara este dato como la velocidad media representativa para esta franja. Si la altura de la franja es mayor a 0,6 m se realizara la medición de velocidad por el método de los tres puntos, consiste en realizar medición de velocidad a 0,2h, 0,6h y 0,8h respectivamente, se tomara como velocidad media de esta franja el promedio de estas tres velocidades.

Cumplir con las normas de seguridad a la hora de realizar un aforo por el método de vadeo las cuales son: utilizar el equipo adecuado como traje de fontanero, soga y arnés, para evitar algún accidente por el arrastre de la corriente. El ingreso a la zona de aforo debe hacerse por un lugar de fácil acceso y que no presente inconvenientes tanto para los operarios y el equipo a utilizar, el nivel del agua en la corriente no debe superar un metro de profundidad (1m), ya que el empuje de la corriente es muy fuerte y puede arrastrar al operario que ingrese a registrar las velocidades en el río. Las personas encargadas del manejo del prototipo de molinete hidrométrico deben saber muy bien su armado y funcionamiento para realizar el aforo, todo esto para obtener datos coherentes y lograr así los mejores resultados para el posterior cálculo de caudal.

Realizar una buena limpieza y lubricación de las partes móviles del prototipo de molinete hidrométrico, se debe realizar esto para mantener en buen estado y alargar la vida útil del dispositivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APARICIO MIJARES. Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie: Madrid: Limusa, 1992. 302p

BASÁN NICKISCH, Mario. “Curso de aforadores de corrientes de agua”. {En línea}. {28 de octubre de 2014} Disponible en: (http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_curso_aforadores_de_agua.pdf)

CORPONARIÑO. “plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Juanambú”. {En línea}. {10 de octubre de 2014} disponible en: (<http://corponarino.gov.co/expedientes/planeacion/determinantesambientales.pdf>)

ESTRADA ARIAS Pedro, LEIRA ORTIZ Angy, MIRANDA SILVERA Mileinys, ORTIZ POLO Marco, PUGLIESE BARBOSA Katherine. “Molinete hidráulico”. {En línea}. {23 de septiembre de 2014} disponible en: (<http://es.slideshare.net/AngyMile02/molinete-hidraulico>)

GUERRERO BENAVIDES, Vanessa. Caracterización geográfica del cañón del Río Juanambú departamento de Nariño. Pasto, 2014, 188 p. Trabajo de Grado. Universidad de Nariño. Facultad Ciencias Humanas. Departamento de Geografía.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA DE ESPAÑA “método de cálculo de balance hídrico” {En línea} {15 de octubre de 2014} disponible en: (<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001377/137771so.pdf>)

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA “guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas”. {En línea}. {20 de agosto de 2014} disponible en: (http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/potencialidades/GUIA%20DE%20DISENO%20PARA%20PEQUENAS%20CENTRALES.pdf)

POZO DÍAZ, Liliana. “construcción de un prototipo de molinete universal para la medición de la velocidad del agua en ríos, basado en el molinete universal utilizado en el Inamhi”{En línea} { 23 de enero de 2015} disponible en: (<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4165/1/CD-3870.pdf>)

ANEXOS

Anexo A. Manual de mantenimiento y funcionamiento prototipo de molinete hidrométrico construido en el laboratorio de hidráulica y saneamiento de la universidad de Nariño

Antes de poner en funcionamiento el dispositivo leer cuidadosamente las recomendaciones de este manual, en caso de no llevar a cabo estas recomendaciones podría alterar el desempeño del dispositivo y obtener datos erróneos a la hora de realizar algún tipo de medición de velocidad de una corriente de agua.

Este prototipo esta construido para calcular la velocidad de la corriente de agua de pequeños canales, ríos, quebradas, etc.

Este dispositivo de medición cuenta con varias partes móviles y accesorios de fácil extracción para realizar mantenimientos periódicos o cambios si el equipo lo necesitara.

ACCESORIOS

Hélice

Esta fabricada de material plástico (plástico ABS), resistentes a la corrosión y golpes, posee un diámetro externo de 140 mm y cuatro aspas, cuenta con un imán de neodimio en una de sus aspas, es de fácil extracción e instalación.



Base para hélice

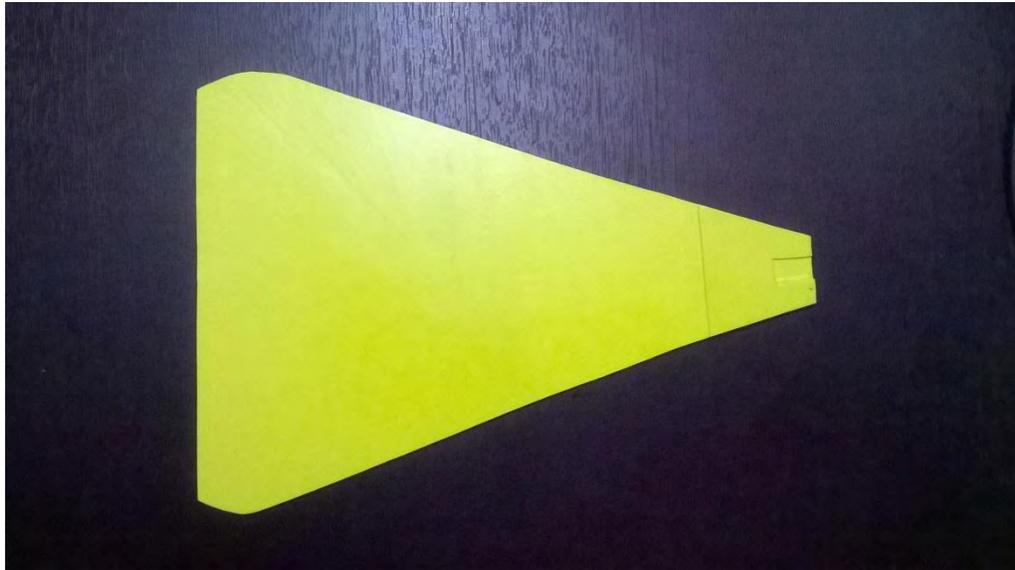
Base móvil construida en acero inoxidable, consta de 2 ejes en sus costados, uno de ellos para asegurar la hélice por medio de un tornillo philips y el otro eje con una ranura diseñada para soportar una aleta de dirección, posee un sensor electromagnético en el lado donde asegura la hélice. Esta base tiene un tornillo tipo mariposa para asegurarla en una barra métrica de desplazamiento.



Barra métrica de desplazamiento: Barra de aluminio de 40 mm de diámetro y una longitud de 1,5 metros, tiene unas divisiones a lo largo de su longitud de 0,1 metros para calcular la altura de la lámina de agua y localizar la base de la hélice a una altura determinada. Posee un plato o pie de soporte en su parte inferior para mediciones en ríos o lechos fangosos.



Aleta de direccion: Esta fabricada en plastico flexible, tiene unas dimensiones de 0,12 metros ancho por 0,3 metros de largo.



Microcomputador: Microcomputador marca **dp**, es resistente al agua y la humedad, funciona con bateria tipo moneda con referencia LR44. Esta diseñado para medir la velocidad de la corriente de agua ademas de otras funciones. Dato inicial de ingreso o programacion **0107**, paso a seguir es la eleccion de las unidades de los datos de salida, pueden ser en Millas por hora (mph) o en Kilometros por hora (Km/h). Posee una correa de velcro para aseguralo a la barra metrica de desplazamiento. Sistema de conexión al sensor tipo jack & plug.



Sistema de funcionamiento: Este sistema funciona a partir del giro de la hélice por arrastre de la corriente o flujo de agua, como la hélice tiene un imán de neodimio en una de sus aspas el giro continuo producira la activacion de sensor

electromagnetico el cual enviara ciertos pulsos al microcomputador, este se activara automaticamente iniciando el registro de velocidades en su tablero o display. Es un sistema muy sencillo de funcionamiento electromagnetico y de muy facil interpretacion de datos.

Mantenimiento

El mantenimiento de este dispositivo es de gran importancia, porque de estos mantenimientos preventorios depende el normal funcionamiento del equipo.

El mantenimiento se debe realizar cada vez que se ponga en funcionamiento el dispositivo y al finalizar dicho procedimiento, esto con el fin de alargar la vida util del dispositivo y sus componentes.

Es necesario lubricar la parte movil del prototipo de molinete, en este caso los rodamientos de referencia R688 para garantizar el libre movimiento de la hélice y asi obtener datos correctos a la hora del registro de velocidades.

Una vez terminada la practica o registro de velocidades se debe limpiar y secar muy bien todos los componentes antes de guardarlos y volver a lubricar la parte movil o mecanica del dispositivo (rodamiento).

En caso de averia de la hélice o del rodamiento se procedera a retirar la hélice de su base con la ayuda de un destornillador de estrias para realizar el respectivo cambio de componente.

Especificaciones del dispositivo

Peso total del dispositivo:420 gr

Rango de velocidades

0,1 Km/h – 20 Km/h

Precision del dispositivo

$\pm 0,027778$ m/s

$V =$ velocidad registrada por el dispositivo * $0,0277778$ m/s

Altura minima de la lamina de agua para su funcionamiento

0,16 m

Anexo B. Protocolo de campo para el cálculo de caudal por el método de área y velocidad con la utilización de un molinete hidrométrico (correntómetro)

OBJETIVO

Realizar la práctica de cálculo de caudal mediante un aforo directo, para una determinada corriente de agua por medio del método de área y velocidad con la ayuda y utilización de un molinete hidrométrico.

Equipo y elementos a utilizar

- Molinete hidrométrico
- Cinta métrica
- GPS (opcional)
- Overol de fontanero
- Arnés y cuerda de seguridad (opcional)

Metodología de aforo de caudal por el método del área y velocidad con molinete
Este método se fundamenta por la ecuación

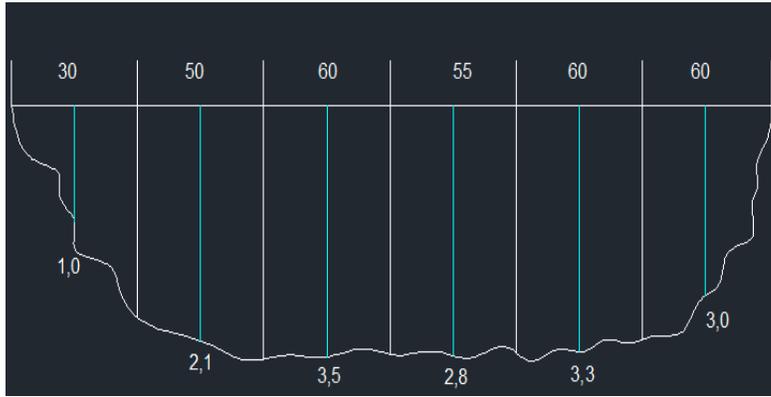
$$Q = A * V$$

Como las secciones transversales de los ríos no tienen una forma definida se hace necesario dividir en franjas o dovelas para realizar mediciones de velocidad para cada una de las divisiones. La precisión del cálculo de caudal depende en gran parte del número de verticales que se determinen.

Área sección transversal del río.



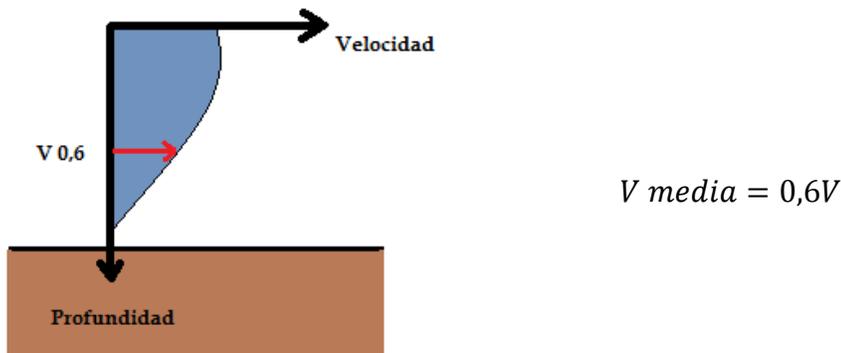
Subdivisión de la sección transversal.



Levantamiento topográfico del cauce del río por batimetría: El cálculo de velocidad se realizan con un equipo llamado molinete hidrométrico, este equipo contabiliza las revoluciones de una hélice al ser sumergida en la corriente de agua, con el prototipo de molinete hidrométrico construido en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Nariño ya no se hace necesario el conteo de las revoluciones, ya que el interpreta estos datos y proporciona directamente datos de velocidad en Km/h.

Es de gran importancia determinar la altura de la lámina de agua en cada sección, porque dependiendo de la altura de cada una de estas franjas se utilizara un método diferente de cálculo de caudal.

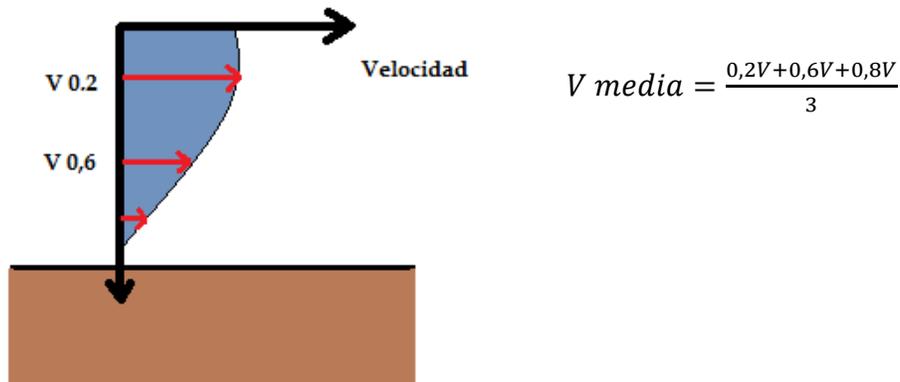
Altura de la lámina de agua método un punto



Si la altura de la franja es menor o igual a 60 cm ($h \leq 0,6m$) se utiliza el método de un punto o del 60% de la altura, es decir sí que el equipo se lo ubicara al 60% de la altura total de la franja y ahí se determinara como la velocidad media vertical de dicha franja.

Ahora si la altura de la franja es mayor de 60 cm ($h \geq 0,6m$) se utilizara el método de los tres puntos, este método consiste en calcular la velocidad en tres puntos de la altura total de la de la franja al 20%, 60% y 80% de la altura total. Con el registro de estas velocidades se calculara la velocidad media vertical para dicha franja.

Altura de la lámina de agua método de los tres puntos



Teniendo los datos de ancho y altura de franja se puede calcular el área transversal de esta franja o división, y teniendo la velocidad media vertical de esa sección se puede calcular el caudal de esa franja o caudal parcial Q_i .

$$Q_i = A_i * V_i$$

Terminado este proceso de cálculo de caudal para cada franja se procede a calcular el caudal total para esa sección del río o Q_{total} como la sumatoria de las Q_i calculadas.

$$Q_{total} = \sum Q_i$$

Elección de la sección de aforo: Existen ciertos parámetros para la elección de la sección en la cual se hace la medición o aforo, esta sección debe cumplir con estos requerimientos, de no encontrar dichas características los encargados de esta práctica deberán optar por realizar la medición en el lugar que por criterio propio sean los más apropiados para realizar el aforo.

El lugar para la realización de la práctica debe tener las siguientes características:

- La altura de la lámina de agua no debe ser mayor a (1,0 m) de profundidad, ya que la fuerza de arrastre de la corriente es muy fuerte para la persona que ingresa al río a realizar la medición.
- Lugar de fácil acceso para el ingreso de las personas y el equipo a utilizar.

- La sección transversal debe ser bien definida para el cálculo del área transversal.
- Debe estar en secciones rectas de río de aproximadamente 100 a 200 metros ya que estos sitios son los más adecuados para este tipo de mediciones, si no fuera posible encontrar secciones con estas características se debe optar por lugares donde se formen remansos y no existan obstáculos que afecten el registro de velocidades.

Desarrollo de la práctica: Se debe tener en cuenta que la práctica o cálculo de caudal se realizara por vadeo (ingreso al río), por esta razón es recomendable tener ciertos parámetros y normas de seguridad.

La persona encargada de ingresar al río a hacer las mediciones debe saber el funcionamiento del equipo y la de todas sus partes móviles, debe portar los equipos de seguridad apropiados para el ingreso al río o canal y por ultimo saber interpretar los datos obtenidos en el microcomputador para el registro de velocidades y posterior cálculo de caudal.

El método de aforo por vadeo es muy simple y sencillo, como primer paso se debe determinar por medición con cinta métrica el ancho de la sección del río o canal a aforar. Teniendo el ancho total se procede a determinar el número de secciones y ancho de cada división.

Como la secciones del río no son de una forma definida y poseen diferentes alturas para cada sección transversal, es necesario que el operario o persona que ingrese al río empiece a medir la altura para cada sección, con ayuda de la barra métrica que posee el equipo o molinete se medirá cual es la altura de la lámina de agua en dicho punto y calcular la altura en la cual se pondrá el equipo, dependiendo de esta altura se decide que método de cálculo de velocidad se utilizara para dicho punto o franja de sección transversal.

Una persona deberá estar registrando los datos medidos por el operador del equipo que ingresa al río, estos datos son altura total de la lámina de agua, y altura o alturas en las cuales se ubicara el equipo y las velocidades obtenidas en esos puntos.

Terminado todas las mediciones y recolección de datos para esta sección en particular se procede al análisis de estos datos y el cálculo de caudales parciales y caudal total puntual para esa sección del río o canal.

Anexo C. Plano de la zona de estudio

FECHA _____	RIO O CANAL A AFORAR _____	LONGITUD _____	
		LATITUD _____	
		ALTITUD _____	
Ancho del río o canal en m <input style="width: 100px;" type="text"/>			
# de divisiones o dovelas <input style="width: 100px;" type="text"/>			
Altura Hi (m)			0.2 H
Velocidad V=Km/h			0.6 H
Prom V (Km/h)			0.8 H
Pasar de Km/h a m/s multiplicar por 0.27778			
V (m/s)	*	*	*
Areas Ai (m ²)	*	*	*
=	=	=	=
Qi (m ³ /s)	*	*	*
=	=	=	=
Q Total = Σ Qi			
Q Total = <input style="width: 50px;" type="text"/> m ³ /s	=	<input style="width: 50px;" type="text"/> L/s	

Nota : Una vez realizado estas subdivisiones se procede a realizar las mediciones de velocidades mediante el método de los 3 puntos que corresponde a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad total. Cuando las profundidades son menores a 60 centímetros se mide la velocidad a 0.6 de la profundidad, esta medición de velocidad se considerara como la velocidad media para esta franja o subdivisión.

Anexo D. Tablas de Excel de aforo de campo

Tabla de aforos Río Janacatú

FECHA	6 de Noviembre de 2015	RÍO O CANAL A AFORAR	Río Janacatú
		LONGITUD	77° 4' 40,94"
		LATITUD	1° 26' 8,32"
Ancho del río o canal en m	6,2	ALTITUD	1475 msnm
# de divisiones o dovelas	6		

Altura Hi (m)	0,3	0,5	0,6	0,55	0,6	0,6
Velocidad V=Km/h	1	2,1	3,5	2,8	3,3	3

Pasar de **Km/h** a **m/s** multiplicar por **0,27778**

V (m/s)	0,27778	0,583338	0,97223	0,777784	0,916674	0,83334
	*	*	*	*	*	*
Áreas Ai (m²)	0,31	0,51666667	0,62	0,56833333	0,62	0,62
	=	=	=	=	=	=
Qi (m³/s)	0,0861118	0,3013913	0,6027826	0,44204057	0,56833788	0,5166708

$$Q \text{ Total} = \sum Qi$$

Q Total =	2,517335 m ³ /s	=	2517,33 L/s
------------------	----------------------------	---	-------------

Nota: Una vez realizado estas subdivisiones se procede a realizar las mediciones de velocidades mediante el método de los 3 puntos que corresponde a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad total. Cuando las profundidades son menores a 60 centímetros se mide la velocidad a 0.6 de la profundidad, esta medición de velocidad se considerara como la velocidad media para esta franja o subdivisión

Tabla de aforos Río Juanambú

FECHA	7 de Noviembre de 2015	RÍO O CANAL A AFORAR	Río Juanambú
-------	------------------------	----------------------	--------------

		LONGITUD	77° 7' 55,59"
Ancho del río o canal en m	16,5	LATITUD	1° 26' 21,48"
# de divisiones o dovelas	16	ALTITUD	1279 msnm

Altura Hi (m)	0,8	0,9	1,1	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1	0,7
Velocidad V=Km/h	0,7	1,6	0,9	1,4	1,2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,6	1,5	1,2	1	0,7
	1	1,7	1,7	2,1	1,8	2,3	2,4	2,3	2,4	2,6	2,5	2,4	2,4	1,7	1,5	1
	1,2	2	2,3	2,7	2,4	2,9	3,1	2,9	2,9	3,1	3,1	3	2,9	2,2	1,9	1,3
Prom V (Km/h)	1	1,77	1,6	2,1	1,8	2,3	2,4	2,3	2,3	2,5	2,5	2,3	2,3	1,7	1,5	1

0,2 H
0,6 H
0,8 H

Pasar de Km/h a m/s multiplicar por 0,27778

V (m/s)	0,27	0,491	0,45	0,6	0,5	0,63	0,657	0,63	0,64	0,69	0,7	0,65	0,6	0,472	0,4	0,28
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Áreas Ai (m ²)	0,83	0,928	1,13	1,3	1,24	1,34	1,341	1,24	1,24	1,34	1,3	1,24	1,2	1,134	1	0,72
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Qi (m ³ /s)	0,22	0,455	0,51	0,8	0,62	0,84	0,881	0,78	0,79	0,93	0,9	0,8	0,8	0,536	0,4	0,2

$$Q \text{ Total} = \sum Qi$$

$$10,462497 \text{ m}^3/\text{s} = 10462,50 \text{ L/s}$$

Nota : Una vez realizado estas subdivisiones se procede a realizar las mediciones de velocidades mediante el método de los 3 puntos que corresponde a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad total. Cuando las profundidades son menores a 60 centímetros se mide la velocidad a 0.6 de la profundidad, esta medición de velocidad se considerara como la velocidad media para esta franja o subdivisión.

Tabla de aforos Río Negro

FECHA 6 de Noviembre de 2015 RÍO O CANAL A AFORAR Río Negro

		LONGITUD	77° 6´ 0,86"
Ancho del río o canal en m	15,8	LATITUD	1° 25´ 16,87"
# de divisiones o dovelas	15	ALTITUD	1398 msnm

Altura Hi (m)	0,4	0,9	0,9	0,8	1	1,1	1,1	1,05	1	1,1	1	0,9	0,8	0,6	0,4	
Velocidad V=Km/h	1,4	1,3	1,7	1,5	1,5	1,4	1,6	1,4	1,5	1,7	1,5	1,4	1,3	1,8	1,3	0,2 H
		1,8	2	2	1,9	1,7	1,9	1,8	1,9	2	1,8	1,8	1,7			0,6 H
		2,2	2,4	2,4	2,1	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2	2,1	2			0,8 H
Prom V (Km/h)	1,4	1,767	2,03	1,967	1,83	1,7	1,867	1,767	1,867	2	1,767	1,767	1,67	1,8	1,3	

Pasar de Km/h a m/s multiplicar por 0,27778

V (m/s)	0,39	0,491	0,56	0,546	0,51	0,47	0,519	0,491	0,519	0,56	0,491	0,491	0,46	0,5	0,36	
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Áreas Ai (m ²)	0,42	0,948	0,95	0,843	1,05	1,16	1,159	1,106	1,053	1,16	1,053	0,948	0,84	0,6	0,42	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Qi (m ³ /s)	0,16	0,465	0,54	0,46	0,54	0,55	0,601	0,543	0,546	0,64	0,517	0,465	0,39	0,3	0,15	

$$Q \text{ Total} = \sum Qi$$

$$Q \text{ Total} = \boxed{6,882320} \text{ m}^3/\text{s} = \boxed{6882,32} \text{ L/s}$$

Nota: Una vez realizado estas subdivisiones se procede a realizar las mediciones de velocidades mediante el método de los 3 puntos que corresponde a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad total. Cuando las profundidades son menores a 60 centímetros se mide la velocidad a 0.6 de la profundidad, esta medición de velocidad se considerara como la velocidad media para esta franja o subdivisión.

Tabla de aforos Río Janacatú

FECHA	6 de Noviembre de 2015	RÍO O CANAL A AFORAR	Río Quiña
-------	------------------------	----------------------	-----------

		LONGITUD	77° 5' 32,61"
Ancho del río o canal en m	5,5	LATITUD	1° 28' 11,24"
# de divisiones o dovelas	5	ALTITUD	1534 msnm

Altura Hi (m)	0,2	0,5	0,5	0,5	0,17
Velocidad V=Km/h	0,7	1,4	2	2,4	0,5

0.6 H

Pasar de Km/h a m/s multiplicar por **0,27778**

V (m/s)	0,194446	0,388892	0,555556	0,666672	0,13889
	*	*	*	*	*
Áreas Ai (m ²)	0,22	0,55	0,55	0,55	0,187
	=	=	=	=	=
Qi (m ³ /s)	0,04277812	0,2138906	0,305558	0,3666696	0,02597243

$$Q \text{ Total} = \sum Q_i$$

$$Q \text{ Total} = \boxed{0,954869} \text{ m}^3/\text{s} = \boxed{954,87} \text{ L/s}$$

Anexo E. Plano de aforos ríos Quiña, Janacatú, Juanambú y Río negro